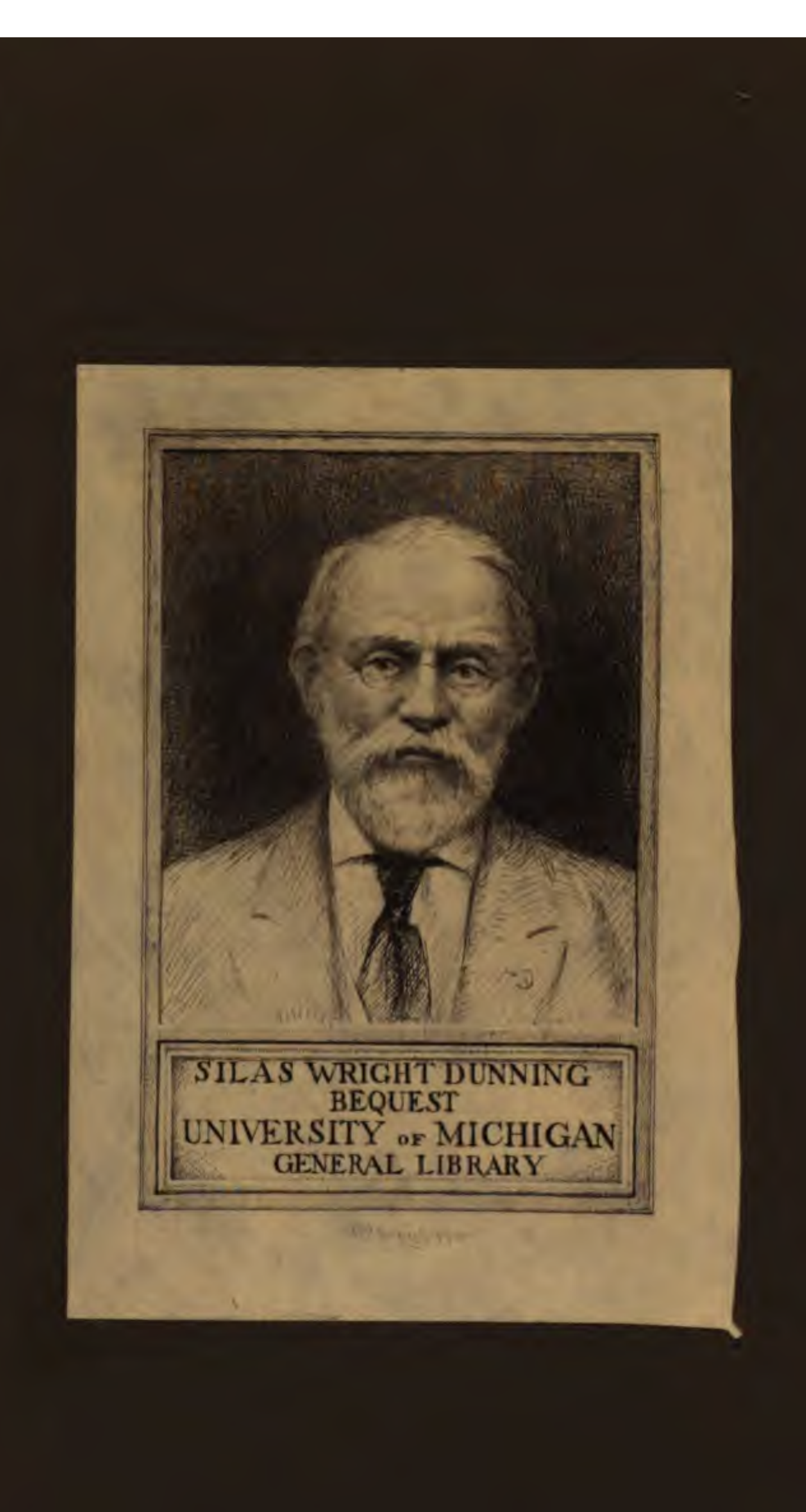

SILAS WRIGHT DUNNING
BEQUEST
UNIVERSITY OF MICHIGAN
GENERAL LIBRARY





MÉMOIRES

DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE

DES SCIENCES NATURELLES

DE CHERBOURG.

La Société nationale des Sciences naturelles de Cherbourg a été reconnue comme Établissement d'utilité publique par Décret en date du 26 Août 1865.

Société nationale des sciences naturelles et mathématiques de Cherbourg.

MEMOIRES

DE LA

SOCIÉTÉ NATIONALE
DES SCIENCES NATURELLES
DE CHERBOURG

PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION DE

M. LE Dr. AUGte LE JOLIS,

ARCHIVISTE-PERPÉTUEL DE LA SOCIÉTÉ.

TOME XVII.

(DEUXIÈME SÉRIE. — TOME VII.)



PARIS

J. B. BAILLIÈRE ET FILS, LIBRAIRES, RUE HAUTEFEUILLE, 19.

CHERBOURG

BEDELFONTAINE ET SYFFERT, IMP., RUE NAPOLÉON, 1.

1873.

NOTES

SUR

L'ARCHIPEL HAWAIIEN

(ILES SANDWICH)

PAR

Mr. Henri JOUAN,
Capitaine de frégate, Officier de la Légion d'Honneur.

Lorsque Cook reconnut les îles SANDWICH, en 1778, il leur imposa ce nom; mais, de nos jours, on commence à leur en donner un autre qui leur convient à plus juste titre, celui d'Iles Hawaii, tiré du nom de la plus grande terre de l'archipel. Il est probable cependant que cette dernière seule y avait droit, et que, de même que dans la plupart des groupes du Pacifique, les Marquises, les Iles de la Société, la N.-Zélande, les Iles des Amis, etc., il n'y avait pas d'appellation générale donnée au groupe entier par les habitants des différentes îles.

Il est certain aussi que Cook n'est pas le premier navigateur qui y ait abordé. Lors de la capture du galion de Manille, en 1743, Anson trouva sur ce navire une vieille carte espagnole où était marqué un groupe d'îles portant

les noms de *la Mesa*, *la Desgraciada*, *los Majos*, etc., etc., situées à la même latitude que les Sandwich, mais beaucoup plus à l'Est. Cette différence n'avait rien d'étonnant pour l'époque à laquelle la carte avait été dressée. Peut-être était-elle marquée à dessein : la politique ombrageuse des Espagnols pouvait les porter à laisser ignorer au monde la connaissance, ou au moins la vraie position d'un archipel qui aurait pu être un refuge pour des flibustiers et une base d'opérations contre leur commerce et leurs possessions de l'Amérique occidentale (1).

Cook trouva deux morceaux de fer travaillé à l'île Kauai. Les habitants connaissaient bien ce métal, son usage, son utilité. Une de leurs traditions rapportait que, bien longtemps auparavant, leurs ancêtres avaient vu passer devant leurs rivages des navires qu'ils avaient pris pour des îles flottantes (2). En un mot, toutes les histoires racontées par les naturels, dépouillées du merveilleux qui ne pouvait manquer de s'y mêler, semblent démontrer qu'à partir d'une époque qui doit remonter au milieu du XVI[me] siè-

(1) On a vu le même fait se produire, à des époques plus modernes, dans un intérêt commercial : lire, par exemple, dans les *Voyages de Fanning*, à la pêche des phoques dans les mers australes, les précautions prises pour dérober la connaissance des bons lieux de pêche, les fausses indications pour dérouter les concurrents, etc. La position en latitude des îles indiquées sur la carte espagnole, le nom de la plus grande, *la Mesa*, c'est-à-dire *la Table*, s'accordant bien avec l'aspect des sommets de Hawaii vus d'une grande distance, étaient une forte présomption en faveur de l'identité de ces îles avec les Sandwich. Les recherches infructueuses de Lapérouse, en 1786, sur l'emplacement qu'auraient dû occuper *los Majos*, *la Mesa*, *la Desgraciada*, changèrent cette présomption en certitude, et, à partir de ce moment, ces dernières furent effacées sur les cartes.

(2) De là le nom de *Moku*, île, appliqué encore aux navires.

cle, l'archipel avait été visité par des hommes de race étrangère, que quelques-uns y avaient séjourné et y étaient morts ; mais il n'est pas moins vrai que c'est à Cook que l'on doit les premières notions positives sur ces îles plusieurs fois visitées par lui, et où il finit par périr dans une rixe que le rude et peu endurant capitaine avait sans aucun doute provoquée.

Les rapports des Européens avec les Iles Hawaii devinrent de plus en plus fréquents, et, sous l'impulsion d'un chef, Kamehameha Ier, qui partout eût été un homme de génie, la civilisation y fit de rapides progrès; mais mon but n'est pas de m'occuper des vicissitudes politiques et sociales par lesquelles elles ont passé (1).

A partir des dernières années du siècle précédent, plusieurs expéditions scientifiques ont visité les îles Sandwich. A ces expéditions étaient adjoints des naturalistes dont les noms font autorité : Menzies avec Vancouver, de 1792 à 1794 ; Chamisso avec Kotzebue, en 1816 et 1817 ; nos compatriotes Gaudichaud, Quoy, Gaimard, sur l'*Uranie*, en 1819 ; Macraë, Lay, Coolie, de 1825 à 1827 ; Bloxham, sur la *Blonde*, en 1825 ; Gaudichaud, une deuxième fois sur la *Bonite*, en 1836 ; Dana, Brackenbridge et Pickering, faisant partie de l'*Exploring Expedition* des Etats-Unis, en 1840, et d'autres encore. Mais quelle que fût la

(1) L'histoire des îles, depuis leur découverte, a été écrite, avec tous les développements possibles, par les missionnaires méthodistes américains, Bingham, Cheever, Steewart, etc., etc. Tous ces livres se ressentent, plus ou moins, de l'esprit de secte. Celui de J. Jarves, publié à Boston en 1843, me paraît être le plus impartial. Notre compatriote M. Jules Remy, voyageur du Muséum d'histoire naturelle, a donné, en 1862, la traduction d'un ouvrage historique, écrit dans leur langue, par d s auteurs indigènes.

sagacité de ces observateurs, la plupart d'entre eux n'ayant guère fait que de courtes relâches, et forcés le plus souvent, par la brièveté de leur séjour et les difficultés opposées par la nature des localités, à borner leurs courses aux environs du rivage (1), les notions sur l'archipel seraient restées bien incomplètes sans les études plus suivies de personnes ayant résidé plus longtemps dans le pays. On doit beaucoup d'observations intéressantes à quelques-uns des missionnaires. Je citerai : M. Jules Remy, envoyé par le Muséum d'Histoire naturelle de Paris et qui a exploré l'archipel, au point de vue de la botanique, de 1852 à 1855 (2), le Dr W. Hillebrand, médecin allemand, établi à Honolulu où nous l'avons rencontré à cette époque-là, et deux naturalistes américains, MM. W. T. Brigham et Horace Mann, dont les excursions géologiques et botaniques comportent une durée d'un an et demi, à partir du mois de mai 1864.

Les relations continuelles des Américains du Nord avec les Iles Hawaii, où plus de 200 navires baleiniers, portant la bannière étoilée des Etats-Unis, viennent encore tous les ans se ravitailler, l'influence des missionnaires et des marchands de l'Union, qui sont les véritables maîtres de l'archipel sous le couvert du gouvernement constitutionnel qu'ils y ont établi, offrent aux explorateurs américains de grandes facilités pour leurs études ; aussi est-ce dans les mémoires des différentes Sociétés savantes de

(1) Il faut toutefois faire une exception en faveur des membres de l'expédition américaine, qui sont restés plus de temps dans l'archipel et ont poussé leurs excursions dans l'intérieur des îles.

(2) Qu'il me soit permis d'offrir mes remerciements à M. Remy, pour la bonne hospitalité que j'ai trouvée, et les bons moments que j'ai passés dans son cottage de Nuuanu, à Honolulu.

l'Union, qu'on trouve le plus de documents sur ces îles. Je tenterai de résumer ce qu'il y a de plus saillant dans les travaux qui ont été publiés sur ces terres lointaines, en y joignant les observations que j'ai pu faire pendant un séjour de près de trois mois à Honolulu, et j'essaierai de faire ressortir les ressemblances ou les différences qu'elles présentent avec d'autres terres Océaniennes que j'ai été à même de visiter (1).

I

SITUATION GÉOGRAPHIQUE. — GÉOLOGIE. — MÉTÉOROLOGIE.

L'archipel Hawaiien est juste à la limite du tropique du Cancer, compris entre les parallèles de 18° 55′ et 22° 20′ de latitude septentrionale, et les méridiens de 157° 10′ et 163° à l'Ouest de Paris. Le milieu se trouve à 700 lieues dans

(1) Je citerai entre autres :

Notes on the Volcanic Phenomena of the Hawaiian Islands ; On the recent Eruptions of the Hawaiian Volcanoes, par W. T. Brigham : Memoirs read before the Boston Society of Natural History, 1er vol., 1868, p. 341 et 564 ;

Enumeration of the Hawaiian Plants, par Horace Mann : Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, Boston et Cambridge, 7me volume, 1868, p. 145 ;

On Hawaiian Plants, par Horace Mann ; Memoirs read before the Boston Soc. of Nat. Hist. ; 1er vol., p. 529 ;

De nombreuses notices de M. Asa Gray, dans les *Proceedings* de l'Acad. Améric. des Arts et des Sciences, Boston et Cambridge, à partir de l'année 1857.

La mort de M. H. Mann, arrivée le 9 novembre 1868, a empêché la continuation de la publication de ses travaux commencée dans les *Proceedings of the Essex Institute*, mais une note insérée dans le Tome VI de ce recueil (1871) annonce que le gouvernement hawaiien, appréciant les travaux de M. Mann, se dispose à les publier en entier, avec des planches.

l'Ouest de la presqu'île de Californie, à 600 dans le N. N.-O. de l'archipel des Marquises, et à 1200 environ dans l'E. N.-E. des terres les plus voisines du grand archipel d'Asie. Les îles qui le composent comprennent une superficie d'environ 6500 milles carrés (près de 18000 kilomètres carrés), où l'île principale, Hawaii, compte pour les deux tiers.

L'orientation du groupe est O. N.-O. — E. S.-E., ou plus exactement N. 64° O. — S. 64° E, ce qui est à peu près la direction générale de ceux des archipels polynésiens dont la constitution semble, à première vue, se rapprocher de la constitution des Sandwich (1).

On compte 12 îles, 4 grandes et 4 plus petites, toutes habitées, et 4 autres qui ne sont, à vrai dire, que des roches stériles.

Le tableau suivant, dont les principaux éléments sont empruntés à M. Brigham, fait voir leurs grandeurs respectives, et l'élévation de leurs points culminants au-dessus de la mer. En allant de l'Ouest à l'Est:

NIHOA, rocher aride.
NIIHAU, long[r] 32 kilom., larg[r] 8 kilom., haut[r] 547 mètres.
KAULA, rocher nud, cône de tuf volcanique.

LEHUA,	id.	id.	330	(2)
KAUAI,	long[r] 48 kilom.,	larg[r] 45 kilom.,	haut[r] 2.432	
OAHU,	56	34	1.216	
MOLOKAI,	56	11	912	
LANAI,	32	14	608	

(1) Iles Marquises ; direction générale de l'archipel entier.. N. 55° O.
Iles de la Société........................ N. 60° O.
Iles Samoa, ou des Navigateurs............. N. 64° O.
Archipel Harvey.......................... N. 65° O.

(2) J. Jarves.

MAUI,	long[r] 87 kilom.,	larg[r] 40 kilom.,	haut[r] 3.100 mètres
KAHOOLAWE,	19	8	182
MOLOKINI.	rocher aride, cône de tuf,		6 à 7
HAWAII,	long[r] 161 kilom.,	larg[r] 145	4.240

Les chiffres de ce tableau diffèrent de ceux donnés par Jarves pour les longueurs et les largeurs, mais ces différences sont peu considérables et n'ont aucune importance au point de vue de la description des îles.

Les noms de ces dernières sont écrits avec l'orthographe adoptée par les missionnaires : ils diffèrent singulièrement de ceux qu'on lit dans la plupart des relations de voyages et sur des cartes assez récentes. La première cause de ces dénominations inexactes remonte à Cook qui, par suite de sa connaissance incomplète des dialectes polynésiens, a souvent pris pour des mots simples des mots composés, ou plutôt de véritables phrases. L'insulaire, auquel on demandait par signe le nom d'une terre, répondait : *c'est Nühau, O — Nühau, c'est Tahiti, O — Tahiti*, etc. De plus, Cook appliquait aux mots polynésiens, souvent incorrectement entendus, l'orthographe anglaise, la plus rebelle de toutes pour ce qui n'est pas de l'anglais. Les traducteurs de ses relations ont vulgarisé les noms qu'il avait donnés ; ces noms ont été adoptés par ses continuateurs anglais ou américains, et c'est ainsi que figurent sur les cartes *Owhyhee*, *Mowee*, *Woahoo*, *Oneehow*, *Atooi*, etc., qui, avec la prononciation anglaise, rappellent assez bien les sons de la langue des indigènes (1).

(1) Quelquefois, dans les noms des localités et des individus, on trouve des *l* pour des *r*, des *t* pour des *k*, et réciproquement Ces changements sont communs dans tous les dialectes de la Polynésie. Nous avons adopté l'orthographe des missionnaires américains qui est enseignée dans les écoles, quoiqu'elle ne soit pas aussi commode que celle qui est usitée dans d'autres îles,

Laissant de côté le rocher de Nihoa, qui est à une assez grande distance, 40 lieues environ vers l'Ouest, on peut partager l'archipel en quatre groupes : Kauai, Niihau et ses deux annexes, Lehua et Kaula, à l'O. N.-O ; Oahu, à 20 lieues dans le S.-E de Kauai ; le groupe de Maui ; Hawaii à l'extrémité E. S.-E. Comme on le verra plus loin, ces groupes présentent quelques différences géologiques.

L'origine volcanique de l'archipel est écrite partout dans sa constitution en traits grandioses, et Hawaii montre, en pleine activité, les volcans peut-être les plus considérables que l'on connaisse. A l'aspect du relief tourmenté de ces îles, il est facile de reconnaître que de violentes convulsions ont accompagné et suivi leur émission ; que ces cataclysmes ont dû se prolonger pendant longtemps, se renouveler après des périodes de calme. On y voit des montagnes escarpées que terminent des crêtes aiguës, de grandes vallées, des plateaux qu'on pourrait appeler des plaines, déchirés quelquefois par de profonds ravins, des crevasses dont les flancs forment des murailles à pic, des précipices nommés *palis* par les indigènes, des élévations coniques dont les sommets aplatis ont été autrefois des bouches ignivomes. L'énumération qui précède fait voir que ces îles sont, en général, très-hautes par rapport à leur superficie, et que l'altitude augmente en allant vers le S.-E, où se dressent les grands sommets de Maui et de Hawaii (1).

à Tahiti par exemple. La langue hawaiienne aurait pu, comme le Tahitien, s'écrire parfaitemement sans le *w*. *L'u* se prononce *ou*. On fait sentir toutes les voyelles. Il n'y a pas de diphtongue : *ai*, *oi*, *ou*, se prononcent en ouvrant la bouche, *a — ie*, *o — ie*, *a — o*.

1) Le point culminant de l'archipel des Marquises, (Sommet d'O-Hiva-Oa) s'élève à 1260 mètres, le mont Oroena, à Tahiti, à

Aujourd'hui l'action plutonienne semble avoir cessé, excepté sur cette dernière qui est encore en pleine formation volcanique, tandis que les forces destructives des agents atmosphériques, les érosions causées par les pluies, les neiges, les vents, les assauts de la mer contre les côtes, sont maintenant seules à l'œuvre pour modifier le relief des autres îles. A mesure qu'on s'avance vers le N.-O. de l'archipel, on s'aperçoit que l'influence de ces forces destructives se fait sentir depuis plus longtemps. L'aspect de Hawaii, au contraire, est beaucoup moins tourmenté : de loin on a peine à croire que l'élévation de ses principaux sommets soit aussi grande qu'elle l'est réellement, à cause de la douceur des pentes, de l'apparence unie de ces dernières ; aussi, comme le dit M. Chevalier, (2) « la présence de volcans brûlant sur Hawaii, » la forme particulière de l'île, dont l'aspect ne présente » que très-peu des fractures que l'on remarque dans les » autres iles situées dans le Nord-Ouest, ne pourraient- » elles pas permettre de supposer que Hawaii, l'île la » plus élevée et la plus considérable du groupe, a été » formée à une époque moins reculée que les autres, » que l'action volcanique s'est propagée de l'O. N.-O » à l'E. S.-E en laissant s'éteindre, à mesure que de » nouvelles issues se pratiquaient, les cheminées qui, » successivement, avaient donné passage aux matières » incandescentes? »

M. Chevalier n'était resté que quelque jours à Oahu et à Hawaii quand il posait cette hypothèse. Les observations faites depuis sont venues en démontrer la

2,237 mètres. Le sommet de Hawaii a une altitude presque double de l'altitude de l'Oroena.

(2) Chevalier, Voyage de la *Bonite*, Géologie, p. 207.

justesse, ou au moins indiquer que les forces volcaniques, qui travaillent dans le sein de Hawaii, sont depuis longtemps en repos ailleurs. L'examen des diverses îles montre que l'état actuel de l'archipel n'a pas été obtenu d'un seul coup, et qu'on doit supposer, avec Dana et d'autres observateurs, et d'après l'état de dégradation plus ou moins grand des diverses îles, que les principaux foyers d'éruption se sont successivement éteints dans l'ordre suivant :

1° Partie occidentale de l'ile Kauai (Napali).
2° Partie occidentale de l'île Oahu (Mauna Kaala).
3° Partie orientale de Kauai (Waialeale).
4° Partie occidentale de Molokai.
5° Partie occidentale de Maui (Mauna Eka).
6° Partie N.-O. de Hawaii (Mauna Kohala).
7° Partie orientale de Oahu (Mauna Konahuanui).
8° Partie orientale de Molokai.
9° Partie N.-E. de Hawaii (Mauna Kea).
10° Lanai, Kahoolawe.
11° Partie orientale de Maui (Mauna Haleakala).
12° Partie occidentale de Hawaii (Mauna Hualalai).
13° Partie E. de Hawaii (Mauna Loa et Kilauca, qui sont encore en pleine activité).

L'île Niihau aurait suivi les vicissitudes de la partie occidentale de Kauai ; Kahoolawe et Molokini celles des grands cratères de Lanai et de Maui.

Dans les différentes îles, la côte est souvent bordée de récifs madréporiques qui, en général, s'écartent peu du rivage. Quelquefois, dans le voisinage immédiat de la mer, le sol est composé assez profondément de blocs madréporiques, et souvent ces blocs ont été portés à une grande hauteur, soit par les bouleversements auxquels j'ai fait allusion, soit par le fait d'une élévation continue du sol qu'on a cru remarquer. A l'exception de ces blocs

coralligènes, et des sables qui proviennent de leur usure, il n'y a dans l'archipel que des roches d'éruption peu variées. On n'y rencontre pas de roches véritablement fossilifères ; seulement les cônes de tuf renferment parfois des débris de madrépores et des coquilles appartenant à des espèces récentes. Aux basaltes, qui constituent la plus grande partie de la charpente des îles, se joignent les trachytes, les dolérites, la téphrine, les phonolithes et les gallinaces (1).

Les productions minérales en dehors de ces roches ne sont pas nombreuses. Le soufre natif ne se montre en quantité un peu notable qu'à Hawaii, et quoique les dépôts soient facilement accessibles, et le produit d'une grande pureté, il est trop peu abondant pour former un article de commerce. Sur les autres îles, à l'exception de quelques légères traces à Maui, le soufre manque : il n'y a ni solfatares, ni sources chaudes, ce qui tendrait encore à prouver la longue durée du repos dont elles jouissent.

On rencontre aussi, mais très-rarement, des Pyrites. Les naturels n'en avaient jamais fait aucun cas, jusqu'au moment où la ressemblance de ces minéraux avec les pépites d'or, apportées de Californie, leur fit croire que leur pays recélait aussi de l'or, mais on ne fut pas longtemps à les détromper.

Le sel commun se montre en petite quantité dans le cratère de Kilauea, à Hawaii. A Oahu, il y en a un dépôt

(1) Sous la forme filamenteuse, formant les *Cheveux de Pélé*. Les îles sont entièrement volcaniques. Le R[d] Goorich avait trouvé des fragments qu'il croyait être une sorte de granit ; mais il était plus probable que c'était une mimosite, roche qui a une apparence granitoïde, mais qui est réellement une lave pyroxénique (Chevalier, Voy. de la *Bonite*, Géologie). M. Brigham ne parle nulle part de cette roche.

assez considérable, le lac Aliapaakai, près de la ville de Honolulu.

A Kilauea, on a recueilli aussi du Gypse bien cristallisé. On trouve de beaux cristaux de Quartz, une variété d'Opale (*Milky Quartz ?*), des Calcédoines, des concrétions mamillaires, des Augites, des Chrysolithes, etc., etc. Deux échantillons seulement de Grenat rouge-foncé ont été recueillis au sommet d'une des falaises d'Aliapaakai, à Oahu (1).

La quantité de fer contenu dans les laves est assez grande pour donner au sol, qui provient de leur décomposition, une brillante couleur rouge : malgré cela, il n'y a pas, dans toutes les îles, un seul dépôt de fer qui puisse être utilisé. Les ruisseaux de Kauai et les environs du *palī* de Nuuanu, à Oahu, montrent quelques parcelles d'Hématite. A Oahu, on rencontre fréquemment une poudre ferrugineuse qu'on emploie avec succès pour peindre. On voit aussi un peu, mais très-peu, de Limonite.

Les dépôts de Carbonate de chaux sont formés par les bancs de madrépores anciens et récents. Les premiers sont souvent très-durs, changés en Calcaires compactes au contact de l'air.

Les sommets dénués d'arbres ont souvent pour sol une argile rouge, extrêmement glissante quand elle est mouillée. En général, une grande partie du sol est de couleur rouge : la terre est légère et a besoin, pour produire, d'irrigations continuelles. Dans les vallées, et sur les pentes situées à la *partie du vent* des îles, les pluies sont abondantes ; là où elles viennent à manquer, tout se dessèche : il faut alors avoir recours à un arrosage artificiel. Dans la région des forêts, dont il sera question plus loin, les

(1) W. T. Brigham, *loc. cit.*

détritus des plantes, les acides végétaux ont créé un riche terreau noir.

En comparant les diverses roches, que je viens d'énumérer, avec celles qui constituent les Iles Marquises et les Iles de la Société, il est facile de voir la ressemblance (1) de ces dernières avec l'archipel Hawaiien. On retrouve, des deux parts, la même simplicité de composition. Il est à supposer que ces terres auront fait leur apparition à la fin de l'époque tertiaire (2), aux périodes paléothériennes, peut-être à une date plus rapprochée de nous. Les Marquises et Tahiti jouissent depuis longtemps du repos, tandis qu'aux Sandwich le travail plutonien semble loin d'être terminé.

A voir ce qui se passe à Hawaii, on doit penser que les diverses montagnes de l'archipel montraient autrefois, comme celles de cette île, des dômes arrondis auxquels on arrivait par des pentes peu sensibles; mais leur aspect est devenu bien différent sous l'influence des agents atmosphériques, qui continue à se faire sentir sans interruption, et, à Hawaii, joint ses efforts à ceux des actions volcaniques. Les pluies, presque continuelles à une certaine hauteur, provenant de la condensation des nuages arrêtés par les sommets où les pousse le vent alisé, augmentent la raideur des pentes; la fonte des neiges, qui couvrent les points les plus élevés pendant la plus grande partie de l'année, et descendent, dans les hivers froids, jusqu'à 2,000 mètres au dessus de la mer le long des flancs des montagnes, les tremblements de terre, contribuent à

(1) Jardin. *Hist. Nat. des I. Marquises*, Mém. de la Soc. des sc. nat. de Cherbourg, T. IV. — H. Jouan. *Archipel des Marquises*. Revue Coloniale, 1857-1858.

(2) Jardin, *loc. cit.* — J. Garnier, *Voy. autour du monde*; *Océanie*.

changer l'aspect du pays. Les ras-de-marée, dont on a enregistré de fréquents exemples, les assauts continus des vagues contre les falaises dont elles minent la base et arrachent les parties les plus tenues, modifient à la longue les contours des rivages. Mais il serait oiseux de chercher à formuler des conjectures quelconques sur le nombre d'années, ou plutôt de périodes de siècles, qui se sont écoulées avant d'amener les îles volcaniques du Pacifique à leur état actuel. Que de temps n'a-t-il pas fallu aux agents atmosphériques pour décomposer la surface des laves, enlever les parties les plus friables des montagnes et les transporter dans les vallées, où, mêlées avec les débris des plantes qui y ont vécu, elles forment, en certains endroits, un sol fertile qui nourrit des arbres de taille immense !

Depuis la découverte des Iles Sandwich, on a enregistré plusieurs fois des tremblements de terre à Hawaii, à Maui et à Oahu, mais leurs effets n'avaient jamais été bien désastreux ; à Maui, les secousses étaient même très-faibles : cependant l'intensité des chocs paraît aller en augmentant. A Hawaii, en novembre 1838, on ressentit de quarante à cinquante secousses dans un intervalle de huit jours, et on en compta douze dans une seule nuit. Les secousses furent encore plus fortes en mars et en avril 1841. Jusqu'alors les mouvements de la terre n'avaient pas, en général, coïncidé avec les éruptions des volcans, mais il n'en a pas été de même en 1868. Le 27 mars de cette année-là, vers cinq heures du matin, on aperçut une immense colonne de fumée au sommet du Mauna-Loa, et, le 28, commença une série de tremblements de terre qui se renouvelèrent pendant près de 8 mois à de courts intervalles. Le 2 avril, le cratère de Kilauea, dans la partie S.-E. de Hawaii, était en pleine éruption ; le 7, les laves

se frayaient plusieurs issues dans le district de Kau, et s'épanchaient jusque dans la mer. On compta, dans les premiers jours du mois, jusqu'à deux mille chocs, en moyenne cent quarante par jour. Des maisons, des églises, furent renversées ; une immense avalanche de boue rouge remplit le fond d'une vallée, en même temps que de nombreuses crevasses se produisaient dans les plaines et sur les pentes des montagnes. Avant ces derniers cataclysmes, on avait passé par une saison extrêmement pluvieuse ; Hawaii, surtout, avait subi des pluies torrentielles, et le niveau des ruisseaux était beaucoup plus élevé qu'à l'ordinaire. (1)

Souvent, lorsqu'il se produit des éruptions sous-marines à peu de distance des côtes ou sur les rivages, la mer est agitée irrégulièrement et outre mesure, et donne lieu alors à ces phénomènes qu'on appelle encore dans ce cas, mais improprement, *ras-de-marée*, car les mouvements du flux et du reflux n'ont que très-peu d'influence sur leurs production, si même ils en ont aucune. Ces agitations insolites de la mer n'ont pas été remarquées, en général, comme coïncidant avec les éruptions observées à Hawaii depuis trois quarts de siècle (2) ; il y en a eu plusieurs fois alors que les foyers volcaniques de la grande île étaient relativement en repos. Le premier de ces phénomènes, observé en 1819, n'ayant causé aucun accident sérieux, passa, pour ainsi dire, inaperçu. Dans la soirée du 7 novembre 1837, sans que le baromètre et le thermomètre indiquassent un changement probable dans l'atmosphère, on s'aperçut à Honolulu que la mer se retirait avec une

(1) W. T. Brigham, *loc. cit.*

(2) Cependant, lors des éruptions de 1868, il y a eu quelques mouvements d'eau causés par les coulées de lave venant se perdre à la mer.

rapidité extrême, ce qui fit craindre aux résidents étrangers qu'elle ne revint avec la même vitesse et n'engloutît la ville dont les rues sont presque de niveau avec les eaux du port. Les naturels ne virent là qu'une source d'amusement et l'occasion d'une abondante capture des poissons qui se débattaient sur les récifs à sec. La mer avait baissé de 2m40 ; au bout de vingt-huit minutes, elle revint au niveau des plus hautes marées pour baisser ensuite de 1m80. A son retour, elle monta un peu plus haut que la première fois, et retomba de 1m90. Cela continua ainsi, l'amplitude de l'oscillation diminuant graduellement, jusqu'au lendemain soir.

Le phénomène se produisit d'une façon différente, et fut suivi d'effets désastreux à Hawaii et à Maui, principalement à l'Est et au Nord. A Hilo, sur la côte E. de Hawaii, la mer, vers six heures du soir, se retira avec une vitesse de cinq milles à l'heure, laissant à sec une partie du port. La population, accrue d'un grand nombre d'individus qu'une fête avait attirés à Hilo, s'était portée en masse au rivage pour contempler un spectacle aussi étrange, quand une immense vague, dépassant de cinq à six mètres la hauteur ordinaire des grandes marées, se précipita sur la côte avec une vitesse de cinq à six milles à l'heure, renversant tout sur son passage, hommes, animaux, habitations. Aucune secousse de tremblement de terre ne coïncida avec cette invasion de la mer, mais, pendant la nuit précédente, le volcan de Kilauea avait été plus actif que de coutume.

En mai 1841, l'eau se retira assez rapidement, laissant à sec les récifs et une partie du port de Honolulu. Cet effet se produisit deux fois dans l'intervalle de quarante minutes, puis les choses revinrent à leur état normal : la mer avait baissé d'un mètre environ. Juste au même mo-

ment, on observa à Lahaina (île Maui), que le niveau de la mer s'abaissait et remontait de plusieurs pieds à des intervalles de quatre minutes, et que les vagues venaient se briser avec fracas sur les récifs. Il paraîtrait qu'à la même époque on observait un phénomène semblable sur les côtes du Kamstchatka.

Le 14, le 15 et le 16 août 1868, la mer fut extraordinairement agitée dans tout l'archipel : le niveau de l'eau montait et descendait de deux à quatre pieds au-dessus et au-dessous des limites ordinaires. Sans aucun doute cette agitation de la mer était un effet consécutif du terrible tremblement de terre qui, le 13 août, avait bouleversé les côtes occidentales de l'Amérique, soulevant une immense vague dont on ressentit le choc jusqu'à la N.-Zélande et en Australie.

La nature n'a pas prodigué les ports à l'archipel Hawaiien. Il n'y a, à proprement parler, que celui de Honolulu, à la côte méridionale de Oahu, qui mérite ce nom, et encore n'est-il accessible qu'aux navires qui ne tirent que 5 mètres 1/2 d'eau. Les récifs de coraux, qui bordent les îles en certaines places, tiennent à la terre ou bien ne s'écartent pas assez au large pour laisser des mouillages entre eux et le rivage, comme les récifs des Iles de la Société. Les contours des îles ne sont pas non plus dentelés de baies comme on en voit dans l'archipel des Marquises. Il n'y a guère que celle de Waikea ou de Hilo, dans l'Est de Hawaii, qui puisse soutenir la comparaison. En dehors de ces deux endroits, Hilo et Honolulu, les navires mouillent en pleine côte, *sous le vent* des îles. Ces mouillages, où l'on ressent toujours une houle plus ou moins forte, sont incommodes ; mais, comme ils sont abrités des vents dominants de l'E. N.-E. à l'E. S.-E., et qu'il y fait le plus souvent beau temps, ils offrent

aux navigateurs une sécurité à peu près complète pendant neuf ou dix mois de l'année.

La profondeur de l'eau est grande dans les canaux qui séparent les îles, mais, autant qu'on a pu s'en assurer par des sondes bornées à peu près aux approches des principaux mouillages, ou aux points où l'on soupçonnait qu'il pouvait y avoir quelque banc, les fonds sont inégaux. Peut-être est-ce à cela qu'il faut attribuer l'irrégularité des courants observés par le capitaine King (1), et qui nous a pareillement frappé. Jusqu'ici on n'a pas reconnu d'écueils sous-marins pouvant présenter quelque danger, mais l'hydrographie de l'archipel, bien qu'il soit depuis soixante ans fréquenté par un grand nombre de navires, laisse à désirer, et ce n'est pas sans étonnement qu'on voit encore une île *Moku papapa (Ile Plate)*, marquée *douteuse* sur des cartes assez récentes, à 20 lieues de Niihau (2).

Dans l'O. N.-O du groupe, s'étend une longue suite d'ilots, de récifs, de bas-fonds, qui se prolonge jusqu'au voisinage du Japon ; mais tout ce qu'on sait de ces dangers se borne à peu près à la connaissance de leur existence, et encore celle de plusieurs n'est-elle pas certaine, ou leur position sur les cartes correcte.

Généralement l'eau est profonde et il n'y a pas de coraux au pied des falaises, tandis que les grèves et les coulées de lave, qui arrivent en pente douce à la mer, sont bordées de madrépores formant des bancs plus ou moins recouverts d'eau sur toute leur surface, jusqu'à leur limite extérieure où la sonde indique subitement de

(1) Troisième voyage de Cook.

(2) *Mokupapa* n'est pas une île proprement dite, mais bien un écueil, ou attolon, non émergeant (Remy).

grands fonds. Ainsi que je l'ai dit plus haut, dans quelques localités ces bancs madréporiques sont aujourd'hui tout-à-fait à sec, recouverts de terreau et de végétation, et même quelquefois, ils se voient à une hauteur assez considérable au dessus de la mer (1).

On avait d'abord cru que ces récifs croissaient régulièrement dans les localités où leur surface était encore couverte par les eaux : ainsi, de 1794 à 1810, on avait remarqué une différence de plus d'un mètre dans ceux qui forment le port de Honolulu. Des observations faites avec soin depuis lors semblent démontrer que cette différence était due à une élévation continue de la côte qui se ferait rapidement, dit-on. D'année en année, les bancs laissent une plus grande partie de leur surface à découvert, et, dans quelques endroits, la mer s'est écartée de plus d'un mètre de la limite où les pirogues accostaient il n'y a pas longtemps.

M. Chevalier, de son côté, est d'avis que la présence de ces bancs de madrépores ne doit pas être regardée comme une preuve de l'élévation des îles, « car, dit-il, il est bien » évident, à leur inspection, qu'ils n'ont pas vécu là où » ils se trouvent. Ils sont pétris de fragments de poly- » piers différents les uns des autres et dont les tiges n'ont » pas le parallélisme qu'on remarque dans les amas for- » més par les espèces aujourd'hui vivantes. Il est proba- » ble que, pendant un des bouleversements dont ces îles » ont été le théâtre, et dont on trouve tant de traces, des » débris madréporiques auront été arrachés du sein des » eaux et déposés en bancs puissants, cimentés ensuite » par de la matière calcaire. » (2)

(1) A Niihau les récifs madréporiques se montrent à une altitude de 50 à 100 pieds au-dessus de l'eau.

(2) Voyage de la *Bonite*, Géologie.

S'il m'est permis de donner mon opinion d'après ce que j'ai vu, je crois que les deux cas se présentent, c'est-à-dire que, dans certaines localités, les rivages sortent peu à peu de l'eau, d'une manière peu sensible, il est vrai, et que, dans d'autres endroits, la position des bancs madréporiques à des hauteurs plus ou moins grandes au dessus de la mer est due à des convulsions violentes.

Par leur situation géographique, les Iles Sandwich se trouvent à peu près à la limite septentrionale des vents alisés de l'hémisphère Nord qui y règnent pendant les trois quarts de l'année, soufflant souvent avec une grande force; mais on est loin de se plaindre de ces brises fraîches, qui tempèrent la chaleur des rayons verticaux du soleil dans les saisons où ils sont le plus à redouter.

Pendant les mois d'hiver, les vents du Sud et de l'Ouest interrompent la régularité de l'alisé. Ils amènent des calmes, quelquefois de longue durée, mais, le plus souvent, ils soufflent à l'état de très-forte brise, obligeant les navires mouillés sur les rades foraines à appareiller. Le vent du Sud est ordinairement accompagné de grandes pluies, ou chargé de vapeurs salines qui se déposent, comme une gelée blanche, sur la végétation voisine du rivage. A Honolulu, l'inconvénient de ce vent est senti plus vivement qu'ailleurs parce qu'il passe sur des lagunes dont les effluves sont désagréables et même assez pernicieuses, mais, quoiqu'il en soit, les mois d'hiver sont meilleurs que les autres ; la température est moins élevée. Pendant les quelques jours que le vent alisé suit son cours, dans l'intervalle de ces perturbations atmosphériques, le temps est beaucoup plus beau que durant le reste de l'année, la brise plus régulière, plus douce; l'air, moins sec, est fortifiant, et on n'a pas l'ennui des tourbillons de poussière que le le vent soulève dans les parties basses des îles, et emporte à de grandes distances en mer.

Il est bien évident que les effets du vent ne doivent pas être les mêmes partout dans ces îles, différant les unes des autres par la configuration, l'orientation, l'altitude. C'est à Oahu et à Kauai que le vent alisé se fait sentir le plus franchement. La partie *sous le vent* de Maui est soumise aux alternatives régulières des brises de terre et du large. A Hawaii, la hauteur des montagnes s'oppose au passage du vent alisé qu'elles réfléchissent, de sorte que, pendant le jour, il prend tous les caractères de la brise du large, et est remplacé la nuit par la brise de terre. Quand le vent trouve sur son chemin une coupure, un défilé étroit, il s'y engouffre avec violence.

D'après les observations suivies à Honolulu, l'année se partage, en moyenne, comme il suit :

Jours de vent de N. E.	277
id. de vent de Sud	57
id. de vents variables et de calme	31
Jours de beau temps	280
id. de pluie continue	39
id. de temps variable	46

Les écarts du baromètre, à Honolulu, pendant toute l'année, se maintiennent entre 0^m 758 et 0^m 765. Sa hauteur la plus ordinaire est 0^m 762.

La plus haute température observée à l'ombre, à Honolulu, pendant une période de 12 ans, a été 32°, la plus basse, 12°. Ordinairement le thermomètre marque de 20° à 22°, le matin et le soir : de 23° à 24° dans l'après-midi, pendant les mois d'hiver : de 24° à 25° le matin et le soir en été : de 28° à 29° dans l'après-midi, à la même époque. Mais il est clair que ces chiffres changent suivant les localités, l'exposition, l'altitude : ainsi la ville de Lahaina, au pied et sous le vent des hautes montagnes de la partie occidentale de Maui, le mouillage de Waimea, à Kauai,

sont les deux points les plus chauds de l'archipel. A mesure qu'on s'élève depuis le rivage jusqu'aux sommets de Hawaii, couverts de neige pendant presque toute l'année, la température diminue et l'on passe par les climats les plus différents. Sur le plateau de Waimea, dans l'intérieur de Hawaii à 1,200 mètres d'altitude, le thermomètre marque, en moyenne, 17°, 5 : le point le plus bas qu'on ait observé est 9°. Le séjour de ce plateau est recommandé aux personnes énervées par une longue station au bord de la mer où la chaleur est beaucoup plus forte.

Les mois pendant lesquels il pleut le plus sont novembre et décembre. Les orages, accompagnés de tonnerre, sont rares. Je n'ai pas entendu dire qu'on ait jamais observé de cyclônes.

Pendant les mois d'hiver, les hauteurs de Maui sont exposées à des tempêtes de neige inconnues à Oahu, mais qu'on retrouve, avec de la grêle, sur les sommets de Kauai,

La grande hauteur des montagnes arrête les nuages poussés par les vents alisés ; ces nuages se condensent sur leurs sommets et sur leurs flancs, de sorte que, du *côté du vent*, les pluies sont très-fréquentes, ce qui entretient une humidité favorable à la végétation : aussi y est-elle beaucoup plus riche que dans les parties *sous le vent* qui, pendant une portion de l'année, souffrent de la sécheresse. Le coté oriental de Hawaii, par suite de la hauteur des cîmes qui le dominent, reçoit plus de pluie que tout le reste de l'archipel. A partir d'une élévation de 5 à 600 mètres jusqu'à 1500 mètres, la présence continuelle des nuages, jointe à l'action de la chaleur encore très-puissante, a décomposé les laves, et, avec le cours des années, toutes les conditions nécessaires à la végétation se sont trouvées réunies : une terre excellente, une surabondance de chaleur et d'humidité. Cette zône humide constitue la

région des forêts. Plus bas, entre 500 mètres d'altitude et le bord de la mer, l'évaporation étant plus rapide à cause de l'élévation plus grande de la température, et le sol plus poreux absorbant plus facilement l'eau, la végétation est beaucoup moins abondante, excepté dans les vallées et les replis de terrain où le sol a pu devenir plus profond et d'un tout autre caractère. Sur les plus hauts sommets, la lave est nue, le froid de ces régions arrêtant à peu près le développement de la végétation. On peut prévoir, dès maintenant, que la Flore des Iles Hawaii doit présenter des différences avec celle des archipels plus rapprochés de l'Equateur, non seulement sous le rapport de la diversité des plantes, mais encore par l'agencement des zônes de végétation.

On ne doit pas s'attendre à rencontrer de grands cours d'eau sur des terres aussi peu étendues ; cependant quelques-uns, formés par la réunion des cascades qui tombent des sommets, sont relativement assez importants ; mais leur lits rocailleux, leur course torrentueuse, les rendent impropres même à la navigation des pirogues.

Vers 1803 une épidémie désola la Polynésie : les Iles Sandwich ne furent pas épargnées. On a conservé le souvenir de ce fléau où la mortalité, disent les indigènes, fut si grande que les vivants ne *suffisaient plus pour ensevelir les morts !* En 1846 et en 1853, l'archipel fut ravagé par la petite vérole. A la fin de 1854, nous avons vu encore, à Oahu, de nombreux cas de cette maladie dont beaucoup d'individus portaient les stigmates. L'emploi du vaccin commençait à se répandre, et il faut espérer qu'il arrêtera les progrès du mal. A la même époque (1853) on ressentit aussi une sorte de fièvre bilieuse, présentant à la première vue les symptômes de la fièvre jaune, dont la

période aiguë cédait promptement aux vomitifs et aux saignées énergiques, mais dont la convalescence durait quelquefois plusieurs mois. Cette *grippe*, dont je puis parler par expérience, parut presque en même temps en Californie, aux Iles de la Société et aux Marquises, et, pendant quelques années, elle est revenue périodiquement aux mêmes endroits. Dans les premiers temps elle n'avait été funeste qu'aux indigènes qui négligeaient les règles les plus simples de l'hygiène, et ne connaissaient d'autre remède à la fièvre que d'aller se plonger dans l'eau la plus froide qu'ils pouvaient trouver. Plus tard, il y eut quelques victimes parmi des Européens qui pourtant n'avaient pas commis d'imprudences.

La gale et d'autres maladies cutanées sont assez communes, surtout loin des principaux centres, là où le peuple est resté dans sa saleté primitive, et mange beaucoup de poisson mal salé. Les maladies syphilitiques ont diminué d'intensité, excepté dans les ports.

Malgré les maladies que je viens d'énumérer, le pays est très-sain et surtout très-favorable aux enfants. Beaucoup d'individus, maladifs et languissants dans nos climats, vivent dans cet archipel sans, pour ainsi dire, s'apercevoir de leurs maux. On peut aller dehors par les plus fortes chaleurs sans avoir à redouter beaucoup les insolations, rester des heures entières dans l'eau bravant les fièvres, ce qu'on ne peut pas faire impunément dans la plupart des contrées tropicales. Il est évident que je parle pour les gens qui ne font pas de grands écarts de régime, et non pour les matelots baleiniers ivres-morts, dont les rues de Honolulu sont parfois jonchées, ni pour les indigènes mal logés dans une cabane en paille ouverte à tous les vents, au milieu des effluves marécageuses des champs de *kalo*, mal vêtus, mal nourris, et livrés encore, malgré leur con-

version au christianisme, aux remèdes empiriques de leurs espèces de sorciers.

II.

REMARQUES SUR LES DIVERSES ILES EN PARTICULIER. ÉRUPTIONS DE HAWAII.

Kauai, Niihau, et les deux îlots de Kaula et Lehua, composent, à l'O.N.-O. de l'archipel, un groupe d'îles qui ont des rapports étroits dans leur constitution.

KAUAI (*Atooi, Atuai*, des cartes) est à peu près de forme ronde. Son point culminant, Waialeale, situé un peu à l'Est du milieu de l'île, a une altitude de plus de 2000 mètres. Du côté de l'Ouest s'étend un vaste plateau dont la hauteur varie entre 1000 et 1200 mètres. De même que sur les autres îles du groupe, on reconnaît à Kauai deux centres de formation. De nombreux cratères, complètement en repos aujourd'hui, se montrent sur les points élevés, au dire des naturels, car jusqu'à présent les régions un peu éloignées du rivage n'ont pas été explorées. L'accès de ces hauteurs est excessivement difficile, et de loin, la charpente minérale, si je puis m'exprimer ainsi, le relief naturel, disparaissent sous la végétation plus que dans les autres îles. Joignant à cela l'absence de produits volcaniques récents, comme on en trouve sur les îles situées à l'Est de l'archipel, l'état de dégradation des montagnes, l'épaisseur du sol provenant de la décomposition des laves dans les vallées, et sa richesse, on est amené à conclure à l'antiquité de cette île comparée aux autres.

Sur les parties élevées qui se trouvent juste à la hauteur des nuages, l'action érosive des agents atmosphériques se faisant sentir depuis beaucoup plus longtemps qu'ail-

leurs, a rendu le sol impénétrable à l'humidité, de sorte qu'il y en a surabondamment à la surface, ce qui donne à cette région un aspect particulier. Les arbres forestiers qui, à une élévation de 6 à 700 mètres au-dessus de la mer, sont de très-grande taille, à 1000 et 2000 mètres sont rabougris, et plus haut la végétation est plus pauvre encore. Mais les parties basses de l'île rachètent les défauts des hauteurs. Tous les voyageurs sont d'accord pour en vanter l'aspect charmant, la fraîcheur des eaux, la beauté des vallées : tout cela s'applique surtout à la partie orientale, le *côté du vent*, car la partie *sous le vent* est assez aride quoiqu'elle soit arrosée par quelques ruisseaux.

Le mouillage ordinaire est devant l'embouchure d'une petite rivière, Waimea, dans la partie S.-O.; ce n'est qu'une rade foraine, mais pourtant assez sûre. Il y a aussi une petite baie au N.-O., Hanalaë, où quelques navires ont relâché et trouvé des rafraîchissements en quantité. Les habitants de Kauai se livrent principalement à l'agriculture, et la richesse du sol a valu à cette île le nom de *Jardin des Iles Hawaii.*

Près de Hanalaë, on cite les grottes de Haena, au bord de la mer, gigantesques soufflures dans les coulées de lave. Sur le côté Sud débouche la vallée de Hanapepe, prodigieuse fissure dans les rochers : la description qu'en fait M. Brigham rappelle la vallée des *Taioas* à Nukuhiva (1).

L'eau est très-profonde au pied de la falaise qui termine Kauai à l'Ouest. Cette muraille de rochers est à pic ; les pirogues passent entre elle et les cascades qui se précipitent des sommets et atteignent la mer à cinq ou six mètres du bord.

(1) Jardin, *Histoire naturelle des Iles Marquises.*

NIIHAU (*Oneehow*, de la carte française) est, dans sa constitution minéralogique, identique à Kauai dont elle est éloignée de quatre ou cinq lieues. Cette île peut se diviser en deux parties distinctes, la montagne et la plaine. Par le fait de sa position dans le S.-O. de Kauai et de sa moindre élévation (son point culminant n'a guère que 550 mètres), elle reçoit moins de pluie, aussi n'y a-t-il pas de forêts. La végétation, sur les pentes, ne se compose guère que de broussailles et de plantes grasses, indices de la stérilité du sol. Vu de loin, le sommet paraît tout plat, mais, en l'examinant de plus près, on voit que le terrain est une suite d'ondulations régulières, sans traces de cratères. Au dire des naturels, il n'y a pas de ravins profonds comme sur les autres îles, ce qu'on peut du reste voir d'en bas, l'absence d'une végétation puissante permettant de saisir assez bien tous les détails du terrain. La haute falaise (550 mètres), qui termine l'île du côté de l'Est, montre les même roches que la côte occidentale de Kauai.

La plaine comprend à peu près les deux tiers de la surface de l'île ; le sol est formé de débris madréporiques, de sables recouverts par places avec les débris que les pluies ont arrachés à la montagne. Quoiqu'il n'y ait pas d'eaux courantes, ces parties sont fertiles et répondent aux soins des cultivateurs. Elles produisent les meilleures bananes et les meilleurs ananas de tout l'archipel, des choux, des oignons, en un mot, la plupart des légumes des pays tempérés.

Le récif madréporique a été élevé à une hauteur de 15 à 30 mètres. A l'extrémité S.-E. de l'île, il est à nud, très-dur dans cette partie. On y remarque des trous, des fosses naturelles de 10 à 100 pieds de diamètre, dont le fond est occupé par de la terre végétale, où croissent, avec vigueur, des cannes à sucre et de grands arbres à pain. L'épaisseur

et la richesse de ce terreau semblent indiquer une grande antiquité. Dans quelques endroits, les bancs de madrépores sont recouverts par des dunes de sable, recouvertes elles-mêmes d'une mince couche de terre où l'herbe pousse bien.

Au Sud de l'île on remarque quelques étangs salés.

Lehua est un côme de tuf élevé de 330 mètres, dans la partie N.-E. de Niihau, dont il est séparé par un canal large d'un demi-mille, profond à peine de deux mètres et pavé de lave. Le cône se termine par un cratère dont le côté S.-O. s'est effondré. Cet ilot, sur lequel on trouve une source de très-bonne eau, est habité par une nombreuse colonie de lapins.

Kaula, à une plus grande distance dans le S.-O. de Niihau, n'est qu'un rocher aride dépourvu d'eau douce.

Quoique la quatrième seulement pour l'étendue, Oahu (*Wahoo*, des cartes) est l'île la plus importante de l'archipel à cause de son port, Honolulu, qui a attiré le commerce et les étrangers, et amené la fondation d'une ville de 10,000 habitants, le siége du gouvernement, où l'on trouve des conditions de progrès et de confort qu'on ne rencontre pas toujours dans des villes du vieux monde qui comptent la même population.

La première impression produite par l'aspect d'une terre sur les navigateurs dépend évidemment des conditions dans lesquelles ils se sont trouvés avant d'y aborder : ainsi rien d'étonnant que les marins, qui viennent de faire une rude croisière au Kamstchatka ou dans l'Océan Arctique, trouvent les montagnes de l'archipel Hawaiien agréables à voir, tandis que l'effet qu'elles produisent est bien différent pour ceux qui, venant des archipels de l'hémisphère Sud, des ravissantes Iles de la Société, par exemple, défi-

lent devant les montagnes qui dominent Oahu, les cratères pelés qui bordent le rivage, surtout si leur arrivée a lieu en été ou en automne, avant qu'à la suite des pluies de l'hiver les laves noirâtres soient cachées par un peu de verdure. La vérité est entre les deux manières de voir : si la surface nue des hauteurs, l'aspect aride des plages, font croire que Oahu n'est qu'une terre stérile, la vue de nombreux vallons verdoyants, et des pentes des montagnes abritées des vents desséchants, atténue bientôt cette fâcheuse impression.

On reconnaît à Oahu deux systèmes de chaines de montagnes bien distinctes, dirigées toutes deux parallèlement, à peu près O. N.-O.— E. S.-E, d'inégale longueur, mais ayant à peu près la même altitude. Celle qui est le plus au Nord, le long du côté N.-E. de l'île, et s'avance davantage vers l'Est, est deux fois plus longue que l'autre, et plus haute dans sa partie orientale qui prend le nom de *Konahuanui*, de son point culminant élevé à 1215 mètres au-dessus de la mer. Le massif occidental de cette chaîne, séparé du massif oriental par la grande vallée de *Nuuanu*, s'appelle *Waialua*. L'accès en est très-difficile, et il est probable, ainsi que le dit M. Mann, que jamais homme blanc n'a pénétré au cœur de cette région. La chaîne du S.-O., *Kaala*, a très-probablement été formée avant celle du N.-E. On y remarque de grands effondrements, des pics aigus, des ravins profonds et les traces de très-anciennes dégradations. Les pentes sont très-raides, à peine praticables. Les sommets les plus élevés sont marécageux, et même, dit-on, on y verrait un lac de quelque importance (1). Les laves de ces montagnes sont

(1) M. Brigham ne parle de ce lac que par oui-dire. Serait-ce un vrai lac comme le *Vairia* dans les montagnes de Tahiti ?

moins décomposées qu'à Kauai. Les effets de l'action volcanique sont plus visibles que sur cette dernière île : on voit qu'il y a moins longtemps qu'ils se sont produits. Cela ne veut pas dire qu'ils soient récents : loin de là, bien des siècles ont dû s'écouler depuis qu'on les a ressentis pour la dernière fois. Tout, à Oahu, semble indiquer un terrain ancien, témoin de nombreux cataclysmes ; les montagnes sont coniques ou pyramidales, à pentes rapides sillonnées de nombreux ravins portant des traces évidentes de rupture, les coupant dans tous les sens, et formant d'effroyables précipices (1).

Les rivages de Oahu sont, en grande partie, bordés de récifs tenant à la côte, et s'écartant quelquefois à un demi-mille au large. Ils consistent en conglomérats de madrépores, de coquilles et de sables, auxquels s'ajoutent des polypiers vivants. Les plus vieux de ces récifs ont été élevés, sur quelques points, à 10, 15 et même 30 mètres, établissant une séparation entre la mer et des dentelures de la côte qui, peut-être dans l'origine des anses et des baies, se sont changées d'abord en lagunes, puis, comblées par les débris entraînés des flancs des montagnes, ont fini par devenir des vallées en terre ferme.

Le port de Honolulu est formé par une coupure des

N'est-ce pas plutôt, comme celui de *Tovii*, sur les hauteurs de Nukuhiva, dont tout le monde m'avait parlé et que je n'ai jamais pu trouver, une simple dépression du terrain, toujours plus ou moins humide et même marécageux, parce qu'il se trouve dans la région des nuages ? On a généreusement donné le nom de lac à quelques flaques d'eau, quelquefois grossies à la suite de plusieurs journées de pluie continuelle. — Jardin, *Hist. Nat. des I. Marquises*, Mém. de la Soc. des Sc. Nat. de Cherbourg, T. IV. — Jouan, *Archipel des Marquises*, Revue Maritime et Coloniale, 1857 et 1858.

(1) Chevalier, Voy. de la *Bonite*, Géologie.

récifs déterminée par le cours et l'embouchure d'une petite rivière qui vient du fond de la vallée de Nuuanu. On y est parfaitement à l'abri, mais il est fâcheux que le chenal qui y conduit ne puisse pas admettre des navires tirant plus de 5m 40 d'eau. Les grands navires mouillent en pleine côte devant le port, sur la rade de *Waikiki*, médiocre ancrage sur le prolongement du récif, où le fonds de coraux est irrégulier, dangereux avec les vents de Sud, et où les navires sont presque toujours ballotés par la houle. Les montagnes et la pointe du Diamant, vaste cratère éteint qui est le point le plus saillant de la côte, l'abritent des vents ordinaires de l'Est au N.-E, mais les gorges et les cols de ces montagnes laissent passer des rafales et une brise assez fraîche pour apporter aux navires la poussière de la plaine de Waikiki. C'est le nom du terrain aride et poudreux qui s'étend à l'Est de Honolulu, entre la ville, le pied des montagnes et la pointe du Diamant, et qui repose presque en entier sur un banc de calcaire madréporique.

Ce banc, élevé de 7 à 8 mètres à l'entrée de la vallée de Nuuanu, a fourni l'emplacement de Honolulu. La végétation est misérable au bord de la mer. Les épithètes louangeuses que prodiguent les résidents étrangers à un bouquet de cocotiers rachitiques qu'on voit à Waikiki, ne donnent pas une haute idée de la végétation du pays. Le contraste, comme on le voit, est grand entre ces plaines poussiéreuses et les plages ombragées de la plupart des îles tropicales de l'autre hémisphère.

Derrière Honolulu s'étendent des pâturages et des champs de *Kalo (Caladium esculentum)* fertilisés par des travaux d'irrigation très-bien entendus, et, dans le haut de la vallée, par de fréquentes averses qui n'arrivent pas jusqu'à la ville. Ici encore les arbres manquent : on ne voit

guère que quelques *Kukui (Aleurites triloba)*, quelques *Hau (Hibiscus tiliaceus)* rabougris. En suivant pendant deux lieues une assez bonne route en pente douce, on arrive, au fond de la vallée, à un col étroit qui domine un précipice de près de 370 mètres de hauteur, le *pali* de Nuuanu, célèbre dans les fastes de l'île par un trait d'héroïsme (1). Au-dessus, de chaque côté, les pics de *Konahuanui* et de *Waiolanui* se dressent comme de gigantesques tours, à peut-être 1000 mètres. Les flancs de ces montagnes sont excessivement usés et dégradés par la pluie et le vent qui s'engouffre dans ce passage étroit, quelquefois avec une violence irrésistible. Un chemin taillé en zig-zag dans le roc sert à descendre du côté du Nord, dans le district le plus riche de Oahu. Du haut du *pali* on a une belle vue à vol d'oiseau : l'œil s'arrête sur des pâturages où paîssent des troupeaux de bœufs, sur de belles pelouses, des champs de kalo et de cannes à sucre. De même que dans les autres îles, le côté *du vent* est le mieux arrosé et le plus fertile, cependant le côté *sous le vent* a un certain nombre de ruisseaux. Il paraîtrait que l'abondance des eaux n'est pas aussi grande qu'autrefois : par suite de déboisements faits sans mesure, sans méthode, il pleut moins ; le débit du ruisseau qui arrose la vallée de Nuuanu, et fournit aux besoins de Honolulu, est beaucoup diminué. (2)

(1) Lors de la conquête de Oahu par Kamehameha 1er, six cents guerriers du parti opposé, acculés en cet endroit, se précipitèrent du haut du *pali* plutôt que de mettre bas les armes.

(2) W. T. Brigham, *loc. cit.* Les chèvres sauvages, les bestiaux errants, sont aussi des agents destructeurs dont l'influence se fait sentir sur la végétation. Des parties de terrain dans les montagnes, qui étaient humides et couvertes de bois, ne sont plus aujourd'hui que de maigres et secs pâturages où il ne pousse

Les grandes montagnes de l'île ne présentent pour ainsi dire pas d'exemples de cratères, mais il n'en est pas de même auprès du rivage dont ils sont les traits les plus remarquables. Ces cratères ne sont pas toujours isolés. Le plus souvent un certain nombre de cônes se trouvent réunis, formant un tout, un système particulier : ainsi à Koko (extrémité S.-E. de Oahu), on en voit trois ensemble, six ou sept à Kaneohe (côté N.-E.). A Aliapaakai, à 9 kilomètres 1/2 dans l'O. de Honolulu, et à un peu plus d'un kilomètre de la mer, ils occupent une étendue de près de 16 kilomètres carrés. Ces cratères paraissent remonter à une date plus ancienne que les autres ; ils circonscrivent une plaine pouvant avoir trois kilomètres de diamètre, dont une partie est occupée par un lac salé qui donne son nom, *Aliapaakai*, à la localité. J'ai visité ce lac au milieu de novembre. Sauf quelques petites flaques d'eau, la plaine était à sec et couverte, par endroits, de cristaux de sel commun. Dans le fond d'un cratère voisin, il y avait une lagune d'eau extrêmement salée. La seule végétation des environs consiste en de très-beaux Cactus, quelques Mimeuses et quelques Indigotiers chétifs. La solitude du lieu était animée par des bandes de Canards et d'oiseaux de rivage.

Le point le plus remarquable de la côte aux approches de Honolulu, à 6 kilomètres 1/2 dans l'Est, est la *Montagne du Diamant*, que les naturels appellent *Leahi*. De loin, les flancs de ce cratère paraissent inaccessibles ; les rebords de l'ouverture sont dentelés par des roches pointues (1). La plus grande hauteur du cône est peut-être de

plus guère que de misérables plants d'indigo. On réclame du gouvernement des lois pour parer à ces dévastations.

(1) Vus de la plage de Waikiki, ces rochers paraissent sous la

200 mètres, mais il se dégrade et se rapetisse très-rapidement sous l'influence des agents atmosphériques. Le plus grand diamètre de l'ouverture est environ de 400 mètres. Le fond, qui est presque au niveau de la mer, est le plus souvent couvert d'eau où s'abattent des vols de canards. Des chèvres errent sur les flancs ravinés par les pluies, où poussent des Cotonniers, quelques *Sida*, quelques *Argémones*, et de l'herbe en assez grande quantité pour inviter les chevaux à une escalade qui n'est pas sans danger. Des pigeons, échappés des colombiers de la ville, font leurs nids dans les trous des rochers.

Un autre cratère, très-ressemblant au Diamant, mais plus petit, *Puawaina* (1) se dresse derrière Honolulu à 160 mètres de hauteur, et est en harmonie, par son aspect désolé, avec les montagnes arides qui servent de cadre au paysage.

Maui, Molokai, Lanai, Kahoolawe et Molokini forment un groupe bien défini, dont les différents membres présentent pourtant des différences dans leur forme et leur constitution. A Maui, on trouve une lave qui n'a été rencontrée ni à Kauai ni à Oahu. A Molokai, il y en a en abondance, une dolérite légère qu'on n'a pas encore vue ailleurs (2). Maui et Molokai sont des îles à double sommet comme Oahu ; Lanai et Kahoolawe n'ont, au contraire,

forme de losanges qui rappellent, sur une grande échelle, la forme des diamants : de là le nom de *Diamond's Hill* donné par les étrangers à la montagne (F. D. Bennet: *A Whaling Voyage round the Globe*, t. II, p. 197). Selon Jarves, le nom viendrait d'une croyance vague que la montagne renfermait des pierres précieuses.

(1) Les étrangers connaissent ce cratère sous les noms de *Punch-Bowl* ou de *Fort Hill* ; ce dernier nom est dû à une petite batterie, bien inoffensive.

(2) W. T. Brigham, *loc. cit.*

qu'un sommet bien marqué et ressemblent à Niihau. La distribution des coquilles terrestres et des plantes est différente; chaque île a des espèces qui lui sont propres (1).

MAUI (*Mowee)*, par son étendue et par l'élévation de son point culminant, est la deuxième île de l'archipel. D'une certaine distance, on dirait deux îles distinctes. Maui se compose, en effet, de deux massifs de montagnes, orientés l'un par rapport à l'autre à peu près E. S.-E. — O. N.-O. et unis par un isthme sablonneux, large de 7 à 8 milles, élevé à peine de quelques pieds au-dessus de l'eau. Plus d'un navire a naufragé là pendant la nuit, croyant donner dans un passage libre.

Le massif oriental, *Mauna Haleakala (la montagne de la maison que le soleil a bâtie)*, le plus considérable des deux, est une montagne en forme de dôme dont la cime s'élève à plus de 3000 mètres et dont les pentes sont très-régulières. De petits cratères percent ces pentes et environnent la base. Le sommet montre une immense dépression, le plus vaste cratère que l'on connaisse. Aucune tradition n'a conservé le souvenir de l'époque à laquelle il jetait des flammes. Sa profondeur est de 5 à 600 mètres et son pourtour de plus de 10 lieues (2). Le point le plus élevé est, d'après des mesures barométriques, à 3106 mètres au-dessus de la mer (3). On trouve ici quelques traces de soufre, mais en petite quantité, très-altéré et très-impur : pas de sources thermales, de fuites de vapeurs, de solfatares, rien, en un mot, indiquant encore quelque activité volcanique. Les tremblements de terre ne sont pas

(1) W. T. Brigham.

(2) Brigham lui donne 30 milles, ou plus de 48 kilomètres de tour.

(3) W. T. Brigham.

plus fréquents qu'ailleurs : rien ne peut faire croire que le profond sommeil du volcan soit désormais troublé. Sur les pentes du côté de l'Est, le sol, formé par les désagrégations successives et les détritus de végétaux, est profond et fertile ; il nourrit de grands arbres, surtout des *Kukui (Aleurites triloba)* d'une taille remarquable.

Le massif occidental, *Mauna-Eka,* est beaucoup plus ancien que l'autre, à juger par sa surface plus dégradée. Inférieur en hauteur, son point culminant ne dépasse pas 1980 mètres. Sur son versant Ouest, le sol est léger : à Ulupalakua, au S.-O, la poussière, dans la saison sèche, forme une couche de plus d'un pied d'épaisseur.

Lahaina, où relâchent un grand nombre de baleiniers, est à la partie occidentale de Maui ; il n'y a qu'une rade médiocre ouverte aux vents d'Ouest.

La superficie de KAHOOLAWE (*Tahoorowa*, de la carte française) est de 63 kilomètres carrés environ ; sa hauteur, à peu près uniforme, de 180 mètres. Le terrain est uni, non sillonné par des ravins. On ne trouve d'eau douce sur cette île que dans quelques petits étangs. La végétation se compose de quelques Euphorbiacées et de Graminées que l'on fait paître par des moutons nombreux.

La partie S.-E. de LANAI (*Ranai*, des cartes) s'élève à environ 610 mètres. Le terrain s'incline en pente douce vers le N.-O., à peu près privé de végétation, et se termine par une falaise haute de 30 mètres. Les cours d'eau font défaut sur le sol rougeâtre ; la végétation est chétive.

MOLOKAI (*Morotoi*) est très-étroite par rapport à sa longueur (11 kilomètres sur 56). Le grand axe de l'île est à peu près E.-O. Vue du Nord, elle se présente comme une

grande muraille à la crête dentelée, d'inégale hauteur, s'élevant presque à pic au dessus d'un terrain plat et sensiblement de niveau. Vers l'extrémité occidentale, cette muraille est interrompue par un isthme dans le genre de celui de Maui, qui la relie à la partie orientale. Le massif de l'Est, *Mauna Olokui*, a 912 mètres de hauteur, tandis que celui de l'Ouest ne mesure guère que 180 mètres.

Les versants sont très-raides, et, dans la *partie du vent*, couverts d'herbes et de buissons jusqu'aux sommets ; les vallées et les ravins sont ombragés par de grands arbres. *Sous le vent*, le sol est pierreux et peu profond. Sur les sommets, qui arrêtent les nuages de l'alisé, l'humidité est très-forte et, dans les nombreux replis du terrain, les arbres et les broussailles font d'inextricables fourrés.

La roche constituante du sommet de l'Est, Olokui, ressemble à une argile bleuâtre durcie : sa pesanteur spécifique est faible comparée à celle des roches des flancs de la montagne. Quand on allume du feu dessus, elle se fend avec une forte détonation, et lance des éclats à distance (1).

L'extrémité Ouest de l'île est une pointe de sable blanc, basse et tout-à-fait aride. On vante la beauté des sites aux environs de Kaluaaha, le mouillage ordinaire à la côte Sud; de jolis vallons débouchent sur le rivage, couverts de plantations d'orangers et d'arbres à pain.

« Les îles autres que Hawaii, dit M. Brigham, ne mon-
» trent que les effets produits par les volcans des anciens
» âges. Non-seulement on n'y rencontre ni dépôts de sou-
» fre, ni sources chaudes, traces des derniers efforts de la
» chaleur interne, mais encore aucune tradition ne rap-

(1) W. T. Brigham.

» pelle le souvenir de l'existence de ces phénomènes. Ces » îles offrent un grand intérêt parcequ'elles portent les » marques de l'action volcanique ancienne, et qu'on y » reconnaît les effets du temps sur les produits de cette » action ; mais c'est en explorant Hawaii que le géologue » trouvera l'explication de bien des choses qu'il a vues à » Kauai, à Oahu et à Maui. Mieux que n'importe où, à Ha- » waii il sera bien placé pour étudier les phénomènes que » présente un volcan en pleine action, car on y trouve » le plus grand volcan connu en activité. L'île entière » montre, sous une forme tangible, la suite des diverses » opérations dont le résultat a été l'état actuel de l'archi- » pel. Il serait sans doute impossible d'étudier la forma- » tion de ces terres mieux qu'ici où, depuis des milliers » d'années — qui pourrait dire combien ? — ont jailli, et » jaillissent encore, d'impétueux torrents de lave pour » bâtir d'immenses montagnes. On trouve à Hawaii la » lave à à tous les états, depuis le terreau noir, riche et » fécond comme à Kauai, jusqu'au roc dur et pelé, » vomi par l'éruption de l'année. »

Hawaii (*Owhyhee*, de Cook) a à peu près la forme d'un triangle dont les côtés mesurent, celui de l'Ouest 137 kilomètres, celui du S.-E. 105, et celui du N.-E. 120. La surface, qui comprend environ 1100 kilomètres carrés, est formée par les versants des quatre montagnes principales :

Maunea Kea, au N.-E., élevée de......	4240 mètres.
Mauna Loa, au Sud....................	4183
Mauna Hualalai, à l'Ouest............	2584
Mauna Kohala, au N.-O................	1530 (1).

(1) Ces chiffres sont empruntés à M. Brigham, plus forts que ceux de la carte française qui donnent : M. Kea. 4156m, M. Loa, 4036m ; M. Hualalai, 2381m.

Le Mauna Kea et le Mauna Loa sont seuls visibles de la mer du côté de l'Est, et, quand ils ne sont pas couverts de nuages, leurs sommets, ainsi que je l'ai déjà dit, paraissent très-peu élevés par rapport à l'étendue des versants. Le profil de ces derniers de loin paraît tout uni, et leurs pentes très-douces.

L'espace compris entre les trois premières de ces montagnes peut, à la rigueur, être considéré comme un vaste plateau d'une altitude moyenne de 1500 mètres, désert et inculte, stérile quoiqu'il reçoive de la pluie en abondance, mais l'eau disparaît au travers du sol poreux, presque uniquement composé de scories.

Le district de Kona, dans l'Ouest de l'île, quoique moins favorisé que le côté oriental sous le rapport de la pluie, jouit néanmoins d'un climat délicieux; les orangers y réussissent bien à la place des arbres des forêts, et le café de Kona peut, au dire des résidents, rivaliser avec celui de Moka. C'est de ce côté que se trouve la baie de *Kealakeakua,* où périt tragiquement le capitaine Cook, rade médiocre qui n'a plus guère été fréquentée quand on eut trouvé un bon port à Oahu.

Le côté S.-O. de l'île est une suite à peu près ininterrompue de falaises à pic dans lesquelles sont creusées des cavernes. Il est difficile d'imaginer quelque chose de plus âpre et de plus bouleversé que certaines parties du district de Kau, ravagé par plusieurs éruptions; il paraît cependant qu'il est très-peuplé. Dans cette région, au Sud de l'île, le R^d Ellis observa, en 1823, une bouche ignivome qu'on ne connaissait pas encore; à Pauna Hohoa, le terrain était sillonné de crevasses par lesquelles s'échappait de la fumée avec une force qui dénotait un énergique travail souterrain. D'après les récits des habitants, à la fin de 1822, le terrain s'était affaissé et entrouvert en laissant

sortir de puissantes coulées de lave. En 1865, à l'époque de la visite de M. Brigham, il n'y avait plus ni fumée, ni vapeur, quoique la lave parût toute récente.

A Kalapanu, dans le district de Puna (partie S.-E. de l'île), on reconnaît que le sol s'est affaissé de 15 à 16 mètres sur une longueur de 2 milles et une largeur d'un mille. C'est seulement à cette plage, à peine élevée de 0^m 70 au-dessus de la mer, que l'on peut trouver le moyen de débarquer, mais souvent la mer y déferle avec violence, minant le rivage, comme on peut le voir par les troncs de cocotiers qui sont aujourd'hui sous l'eau, à moitié ensevelis sous le sable amoncelé par les brisants. Non loin de là on remarque un banc de madrépores qui a été soulevé au-dessus de sa situation primitive.

Le district de Puna, ravagé par les éruptions du volcan de Kilauea, n'est guère qu'un champ de lave, mais en remontant vers le Nord, le long du côté *du vent*, rafraîchi par les pluies et abondamment pourvu de cours d'eau, la scène change, surtout dans le canton de Hilo, le plus fertile, le plus riche et le plus pittoresque de Hawaii. La baie de *Waiakea* (1), au fond de laquelle est la ville de Hilo, est le meilleur port de l'archipel après Honolulu, mais le débarquement y est souvent difficile à cause du ressac, et on peut y être bloqué longtemps par le vent du Nord qui n'y est pas rare.

Le district de Hamakua présente une suite de falaises, hautes de 200 mètres, tapissées de verdure, d'où se précipitent à la mer un grand nombre de cascades. Celui de Kohala, au Nord de l'île, est bordé de mornes d'un aspect lugubre.

(1) Appelée ainsi *Byron's Bay*, du capitaine Byron, de la frégate anglaise la « *Blonde* », qui la reconnut en 1825.

Le commodore Wilkes, chef de l'*Exploring Expedition* des Etats-Unis, a fait l'ascension du Mauna Loa et visité le cratère de Kilauea, en 1840, au prix de beaucoup de peines et de fatigues : il faut dire que l'époque de l'année, décembre, n'était guère favorable. Le mémoire cité de M. Brigham contient aussi les récits de plusieurs excursions à Kilauea et aux trois grandes montagnes. Il faut lire ces récits et ceux de Wilkes, pleins de détails précis et minutieux : l'analyse que j'en ferais n'ajouterait rien aux généralités que j'ai exposées. Je me contenterai de passer rapidement en revue les éruptions que les Européens ont enregistrées depuis la découverte.

Le Mauna Kohala et le Mauna Kea semblent être éteints depuis longtemps. En 1801, le Mauna Hualalai s'entr'ouvrit près du sommet, et vomit une immense coulée de lave qui se répandit vers l'Ouest, s'avança dans la mer jusqu'à trois milles de la côte, et, en se refroidissant, forma la pointe nord de la baie de Kairoua.

Le cratère de Kilauea, le plus grand volcan en activité connu, est dans la partie S.-E. de l'île, sur le versant du Mauna Loa, à 25 kilomètres environ de celui-ci et à 3000 mètres en contre-bas. Kilauea ne répond pas à l'idée qu'on se fait habituellement des volcans. On n'y arrive pas en gravissant un cône, mais au contraire en descendant dans une immense dépression qui peut avoir 300 mètres de profondeur et 17 ou 18 kilomètres de tour. Le fond présente l'image du chaos et montre une soixantaine de bouches ignivômes, de petits cratères en activité, de véritables lacs de lave bouillonnante.

Il serait difficile de dire lequel a surgi le premier des volcans de Mauna Loa et de Kilauea. Le plus souvent, malgré leur voisinage, leur action est indépendante, ainsi qu'on peut le voir par le tableau ci-après :

KILAUEA.	MAUNA LOA
Année 1789	—
1798	—
1806	—
1814	—
1823	—
1832	1832
1840	—
—	1843
1849 (éruption souterraine).	—
—	1851
—	1852
—	1855
1858	—
—	1859
1866	1866
1868	1868

On voit qu'en 1832, 1866 et 1868 seulement, les éruptions des deux volcans ont été simultanées.

Aucune observation de quelque valeur scientifique n'a été faite sur les éruptions de 1798, 1806 et 1814; on n'a que les récits des indigènes. Celle de 1789 n'a pas eu non plus d'étrangers pour témoins, mais les récits des naturels sont plus complets. Le cratère de Kilauea avait lancé de grandes quantités de sable noir accompagné de gaz sulfureux : le même effet s'était produit par des fissures depuis le volcan jusqu'à la mer, dans la direction du S.-E. On ressentit en même temps de fortes secousses de tremblement de terre. Les gaz brûlants et méphytiques firent périr près de cent individus.

L'éruption de 1823 fut en partie souterraine. La lave parut à la surface du sol à quelques milles dans le Sud du cratère : la coulée avait une largeur de cinq milles quand elle arriva à la mer.

1832. — Eruption simultanée de Kilauea et de *Mokuaweoweo*, le cratère du sommet de Mauna Loa.

1840. — Kilauea, dans la direction du S.-E. La lave arrive à la mer à *Nanawalie*, parcourant une distance de 40 milles en 4 jours. Par suite de l'inégalité du terrain, la coulée avait une épaisseur variant de 4 à 50 mètres.

1843. — Eruption au sommet de Mauna Loa. La lave s'écoule vers le Nord et s'arrête à moitié chemin de Mauna Kea.

1851-1852. — La lave du Mauna Loa s'épanche vers l'E. N.-E, presque jusqu'à Hilo.

1855. — Eruption terrible qui dura pendant près de treize mois. La lave, sortant du flanc Nord du Mauna Loa, près du sommet, menaça Hilo, descendit le long du versant de la montagne sur une distance de vingt lieues, couvrant une superficie de 480 kilomètres carrés.

1859. — La lave de Mauna Loa s'écoule d'abord au N. N.-O, puis à l'O. N.-O et arrive à la mer à Wainanahi (côte N.-O).

1866.—Eruption simultanée de Mauna Loa et de Kilauea; l'action du premier volcan est moins forte que celle du second.

1868. — L'éruption du Mauna Loa fut accompagnée de tremblements de terre qui se firent sentir pendant près de huit mois, séparés par de courts intervalles, surtout dans le district de Kau. Des jets de lave surgirent également sur plusieurs points de ce canton, occasionnant des crevasses, des déchirures, etc. Kilauea se mit aussi en mouvement, et il en résulta des changements sensibles dans la forme du cratère (1).

(1) W. T. Brigham, « *On the recent eruptions of Hawaiian volcanoes* (Mem. read before the Boston Soc. of Nat. Hist. vol. 1. 1868). Ces dernières éruptions sont racontées avec les plus grands détails dans un article lu en décembre 1868, à la Soc. d'Hist. Nat. de Boston.

M. Brigham déduit du tableau qui précède les remarques suivantes sur la périodicité des éruptions de Hawaii, jusqu'en 1866 : Kilauea met environ huit ans, plus ou moins, avant de déborder. Mauna Loa a vomi de la lave à des intervalles de 11, 8, 3, 4 et 7 ans. Ce qui se passe à Kilauea indique qu'il y a un apport constant et régulier de lave qui s'accumule jusqu'à ce que, arrivée à une hauteur à peu près la même dans tous les cas, cette lave déborde. Dans les éruptions de Mauna Loa, il est facile de reconnaître que l'apport de la lave se fait aussi avec régularité, si on fait attention à la différence en altitude des points où les diverses éruptions percent la montagne, tandis qu'à Kilauea les éruptions ont toujours lieu à une même hauteur, de 1000 mètres environ au dessus de la mer.

La grandeur et les effets désastreux de ces terribles phénomènes n'avaient pas manqué de frapper l'imagination de populations impressionnables, très-portées aux histoires et aux légendes merveilleuses. L'impression de ces légendes n'est pas encore effacée, et, quoique la plus grande partie des Hawaiiens vivant aujourd'hui, n'aient pas eu d'autre éducation religieuse que celle que leur ont donnée les missionnaires, je parierais volontiers qu'ils voient encore dans les éruptions de Mauna Loa et de Kilauea, des effets de la colère de *Pélé*, la déesse des feux souterrains, dont on trouve les cheveux emportés par les vents à de grandes distances. Ces cheveux de Pélé sont des matières filamenteuses de couleur verte ou jaune. Ces fils composés d'obsidienne, ou verre volcanique, ont souvent plus d'un mètre de long, et sont aussi quelquefois d'une grande finesse. M. Brigham a ramassé, près du cratère de Kilauea, un nid d'oiseau fait avec des cheveux de Pélé entrelacés avec beaucoup d'art, qui contenait deux œufs.

Dans l'énumération des îles, j'ai omis de parler de Molo Kini et de Nihoa. Molo Kini n'est qu'un rocher complétement aride, entre Maui et Kahoolawe. Nihoa, ou *Moku Manu* (l'Ile aux Oiseaux), appelée à juste titre *Ile Birds* sur les cartes anglaises, n'est également qu'un îlot stérile, à 40 lieues dans l'O. N.-O. de Kauai. Malgré cette distance, les insulaires de l'archipel fréquentaient cette île avec leurs pirogues, pour y prendre des oiseaux de mer.

III

RÈGNE VÉGÉTAL. — CULTURE.

Quand on arrive des archipels plus favorisés de l'hémisphère Sud, l'effet produit par l'aspect des Iles Sandwich n'est pas favorable. On est surtout frappé par la pauvreté de la végétation des rivages où beaucoup des grands arbres, communs sur le littoral dans les régions chaudes, font défaut. Cependant, quand on pénètre dans l'intérieur des vallées et qu'on monte jusqu'à la région des nuages, on revient de sa première impression et l'on reconnaît que la Flore Hawaiienne est beaucoup plus riche qu'on n'eût été tenté de le croire de prime abord, et qu'elle présente surtout des caractères plus spéciaux et plus variés que celle des îles de l'autre hémisphère situées près de l'équateur. On devait s'y attendre *à priori*, par suite de la position géographique de l'archipel à la limite du tropique et de la configuration des îles, deux causes qui font qu'on y rencontre tous les climats, l'extrême sécheresse et l'extrême humidité, une chaleur excessive et un froid intense : les faits observés répondent à ces idées préconçues.

Les récoltes de M. Mann (1), et l'étude des recherches de ses prédécesseurs, lui ont fait reconnaître 554 espèces de plantes phanérogames (non comprises les Graminées qui peuvent compter 50 espèces) et 135 espèces de Fougères et de Lycopodes. Les Algues, les Champignons, les Lichens, ne figurent pas dans l'énumération de M. Mann, faute de certitude dans leur détermination : les Lichens sont excessivement communs et comptent peut-être 130 espèces réparties en 42 genres.

Sur les 554 phanérogames (en comprenant dans ce nombre 69 espèces de provenance étrangère bien connue, ou supposée sur de fortes présomptions), 479 sont des plantes dicotylédones, et 75 des monocotylédones. Elles se rapportent à 87 familles et à 253 genres.

377 espèces sont particulières à l'archipel ; 42 ont été introduites récemment ; 27 l'ont été, suppose-t-on, bien antérieurement.

Sur les 253 genres, 39, comprenant 151 espèces, sont propres aux îles Hawaii.

Les familles qui ont le plus d'espèces sont les suivantes :

Composées.....	47	espèces	*Gesnériées*.....	14	espèces
Cypéracées.....	39	—	*Caryophyllées*.	14	—
Lobéliacées.....	35	—	*Urticées*.......	13	—
Rubiacées......	33	—	*Convolvulacées*.	12	—
Labiées........	27	—	*Pipéracées*.....	12	—
Légumineuses..	20	—	*Malvacées*......	12	—
Rutacées......	17	—			

(1) Horace Mann. "*Statistics and Geographical range of Hawaiian plants;* Boston (new series) Journal of Nat. Hist. Vol. 1. 1869. — On doit aux recherches de M. Mann 9 genres nouveaux et 71 espèces nouvelles, c'est-à-dire plus de 12 pour cent de la totalité des plantes phanérogames des îles.

Seize familles ne sont représentées chacune que par une espèce.

Ménispermées	*Saxifragées*	*Myoporinées*
Bixacées	*Haloragées*	*Hydrophyllées*
Camelliacées	*Bégoniacées*	*Gentianées*
Tiliacées	*Sapotées*	*Oléacées*
Ilicinées	*Ebénacées*	*Laurinées*
Celastracées		

La Flore Hawaiienne a donc un caractère particulier, cependant elle présente de très-nombreux rapports avec les Flores de l'Australasie et de la Polynésie.

La proportion des arbres et des plantes ligneuses, par rapport aux plantes herbacées, est grande. Les belles fleurs sont assez rares, les fleurs odorantes encore davantage. Il y en a très-peu de bleues : la couleur dominante est le blanc tirant sur le vert; le jaune et le rose tendre ne viennent qu'après.

A la première vue, on reconnaît qu'il y a trois grandes divisions, trois zônes de végétation : 1° la région maritime, qui comprend les terrains plats et arides du bord de la mer; — 2° les vallées et les premières pentes des montagnes; — 3° les montagnes.

M. Gaudichaud, dans son premier voyage en 1819 (1), avait été frappé de cette répartition des végétaux qui s'explique facilement, en se reportant aux conditions géologiques et météorologiques précédemment exposées. Il est bien évident que ces différentes zônes ne sont pas toujours tranchées d'une façon mathématique, qu'il y a à tenir compte de la configuration du terrain, de son exposition, etc., etc. (2)

(1) M. Gaudichaud a passé vingt jours aux Iles Sandwich, avec l'*Uranie* en 1819, dont sept jours à terre.

(2) Les chiffres, donnés dans ce qui suit comme limites des

La végétation de la région maritime est pauvre, et même misérable en certains endroits, ai-je dit. Il y a loin des plages des Sandwich à la zône de terrain plat qui borde la mer à Tahiti, par exemple, où les cocotiers, les orangers, les arbres à pain, forment un rideau verdoyant. Ici on ne voit guère que des plantes herbacées dont une des plus remarquables, sur les terrains maigres voisins de Honolulu, est une espèce d'*Argémone* au feuillage glauque armé de piquants, et aux fleurs blanches. Les grands arbres du littoral de la plupart des terres tropicales, appartenant aux genres *Barringtonia*, *Terminalia*, *Casuarina*, etc., etc., n'y figurent pas et ne se rencontrent nulle part dans l'archipel. La plupart des végétaux de de cette région sont cependant communs aux Iles Hawaii et à d'autres îles Polynésiennes, mais ils ne sont pas aussi répandus et ont l'air *moins chez eux* que sur ces dernières terres. L'*Hibiscus tiliaceus*, le *Morinda citrifolia*, les premiers occupants des plages, sont rares ici et paraissent étiolés et rabougris. Les Cocotiers, qu'on ne rencontre guère qu'au bord de la mer, sont peu nombreux et peu vigoureux.

Les plantes marines, observées par M. Gaudichaud, sont en petite quantité et communes à presque toutes les îles de l'Océanie Orientale.

Les vallées, mieux arrosées que les parties basses du littoral, possédant un sol beaucoup plus riche, habitées et cultivées depuis longtemps, ont un aspect plus riant, plus fertile et en même temps plus tropical. C'est là qu'on trouve généralement les arbres fruitiers importés, les orangers, les citronniers, les tamariniers, l'avocatier, le

zônes de végétation, se rapportent en général à l'île de Hawaii qui réunit toutes les conditions climatériques.

goyavier qui ne m'a pas paru pousser avec la même vigueur qu'àTahiti et à Nukuhiva, heureusement ! Car cet arbuste envahit tout, étouffe toute végétation, dans ces îles. Les arbres propres au pays (quoique peut-être d'une provenance étrangère, mais en tous cas très-ancienne) sont des *Eugenia*, des *Aleurites*, quelques *Légumineuses*, des *Arbres-à-pain* ; mais ces derniers, si nombreux et si majestueux dans les îles que je viens de nommer, sont rares ici et tout petits, excepté dans quelques localités favorisées. Les autres arbres sont aussi souvent rabougris, et quelquefois manquent tout-à-fait. Le bas des versants des montagnes est souvent occupé par des pâturages, et le fond des vallées par des plantations de *Kalo*.

La région végétale des montagnes commence à une élévation de 250 à 300 mètres au-dessus de la mer, et s'étend, en hauteur, jusqu'à la limite de la végétation, limite qui dépend beaucoup de l'exposition : ainsi à Hawaii, du côté *du vent* du Mauna Kea, elle atteint près de 3700 mètres d'altitude (1), tandis que sous le vent du Mauna Loa, elle s'arrête à 2500 mètres. D'après M. Remy, il y aurait plus haut une *zône alpestre*, mais MM. Brigham et Mann lui refusent ce nom. Les arbres et les arbrisseaux, à mesure qu'on s'élève au-dessus de ces limites, s'étiolent, se rapetissent et finissent par disparaître. Les sommets extrêmes sont dépourvus de végétation.

Quand on quitte les établissements du rivage et les vallées cultivées, dont la plupart sont remarquables par la fraîcheur, sinon par le caractère imposant de leur végétation, on entre dans ce que M. Gaudichaud a appelé avec raison la *zône torride* des montagnes, à une altitude moyenne de 300 mètres. Dans cette partie, « la roche vitreuse

(1) W. T. Brigham.

» n'offre que sécheresse et stérilité. A peine çà et là, quel-
» ques parcelles de terre ont été réunies dans les inégalités
» du roc, et de rares végétaux, pour ainsi dire tombés des
» montagnes, défigurés dans leur chûte, végètent péni-
» blement et présentent une foule d'anomalies des plus
» singulières..... Le peu de plantes qu'on rencontre
» dans cette région, ont presque toutes leurs analogues
» sur les côtes d'Asie..... Les animaux y sont rares :
» nous n'y avons vu ni oiseaux, ni reptiles, ni insectes
» d'aucune espèce : tout ici a fui la chaleur destruc-
» tive (1). »

Les Mousses et les Lichens manquent dans cette zône (2). Les arbres des plages qui y pénètrent, tels que les *Aleurites*, les *Cordia*, les *Hibiscus,* deviennent languissants et chétifs. Ceux qui proviennent des régions supérieures, leurs stations naturelles, subissent des altérations dont je montrerai les plus remarquables, telles que si on n'avait pas sous les yeux la série des changements consécutifs, on pourrait croire qu'ils sont d'espèces différentes.

A deux ou trois cents mètres plus haut, à mesure qu'on s'approche des nuages qui ont, à force de temps, décomposé la lave, on arrive à la zône des forêts. C'est là qu'on trouve la plus grande partie des plantes propres à l'archipel. L'*Aleurites triloba* y est abondant, mais les principaux arbres de cette région appartiennent aux genres *Metrosideros* et *Acacia*. C'est au milieu des bois, à 1000 et 1200 mètres d'élévation, qu'on remarque les Fougères arborescentes, plus bas les Lobéliacées, une des familles caractéristiques de l'archipel, qui compte 35 espèces. Les diverses espèces (ou plutôt les diverses variétés) de Sandal, qui

(1) Gaudichaud, *Voyage de l'Uranie* ; Botanique.
(2) Id. Id.

faisaient un important article d'exportation à peu près épuisé aujourd'hui, se rencontrent entre 300 et 1200 mètres au-dessus de la mer. La zône, qui récompenserait le plus le botaniste de ses peines, est comprise entre 500 et 2000 mètres d'altitude (1).

Les genres *Dodonæa*, *Sophora*, *Gouania*, *Osteomeles*, *Vaccinium*, sont ceux dont les représentants se montrent le plus près des limites supérieures de la végétation. Le *Drosera longifolia*, plante de nos pays, a été reconnue à 2430 mètres au-dessus de la mer.

Dans ses herborisations, M. Gaudichaud n'a pas rencontré d'Orchidées. Je ne me souviens pas d'en avoir vu une seule, et je n'en trouve pas dans la liste de M. Mann. (2)

Ce dernier, précisant davantage, reconnaît aux Iles Sandwich cinq zônes distinctes de végétation :

1° *Région maritime.* — Le sol, très-sec, est presque tout entier formé par des bancs de madrépores, ou par des sables calcaires enlevés des plages par le vent et tranportés à une certaine distance de la mer.

Plantes caractéristiques : *Hibiscus Youngianus*, Gaud. — *Cleome Sandvicensis*, Gray. — *Erythrine monosperma*, Gaud. — *Argemone* .... — *Ipomœa Pes-capræ*, R. Br. — *Sida rhombifolia*, L. etc., etc.

2° *Région des terrains bas.* — Jusqu'à 1000 pieds au-dessus de la mer. La plupart des végétaux de cette région ne sont pas particuliers aux Iles Sandwich, comme on peut le voir par l'énumération ci-après. (Cette remarque s'applique aussi à la région maritime.)

(1) W. T. Brigham.

(2) M. Jardin en signale une aux Iles Marquises, mais sans en déterminer l'espèce. D'après M. Remy, il y aurait, aux Sandwich, 30 Orchidées, très-modestes et très-peu répandues.

Plantes caractéristiques : *Gossypium*.... plus. espèces. — *Tribulus cistoides*, L. — *Oxalis corniculata*, L. — *Morinda citrifolia*, L. — *Myoporum Sandvicense*, Mann. — *Cordia subcordata*, Lam. (*Sebestina* ? Forst.) — *Ipomœa bona nox*, L. — *Santalum ellipticum*, Gray. — *Aleurites triloba*, Forst. — *Jambosa Malaccensis*, D.C. — *Ricinus communis*, L. — *Tacca pinnatifida*, Forst. — *Zingiber zerumbet*, Ross. — *Cordyline terminalis*, Kunth. — *Hibiscus tiliaceus*, L. — *Pandanus odoratissimus*, L. etc.

3° *Région boisée plus élevée.* — Entre 1500 et 3500 pieds.

Plantes caractéristiques : *Ranunculus Hawaiiensis*, Gray. — *Ranunculus Maviensis*, Gray. — *Pittosporum*... 6 espèces. — *Calophyllum inophyllum*, L. — *Geranium arboreum*, Gray. — *Guilandina bonduc*, L. — *Acacia Koa*, Gray. — *Rubus*... 2 espèces. — *Metrosideros*... plus. espèces. — *Eugenia*... — *Psidium guayava*, L, — *Mucuna gigantea*, DC.— *Mucuna urens*, DC. — *Gardenia*... pl. espèces.— *Vaccinium penduliflorum*, Gaud.—*Ipomœa bona nox*, L. — *Santalum Freycinetianum*, Gaud. — *Santalum ellipticum*, Gray. — *Bœhmeria*... — *Euphorbia*... pl. espèces. — *Smilax*... — *Cordyline*... etc.

4° *Région des montagnes.* — Comprise entre le niveau inférieur et le niveau le plus élevé des nuages, c'est-à-dire de 3500 à 6000 pieds d'altitude, très-humide et boisée. Le *Metrosïderos polymorpha*, Gaud., grand arbre forestier, n'est plus qu'un arbre nain à la limite supérieure de cette région.

5° *Région supérieure des montagnes.* — Une petite région dépourvue de bois, et particulière aux sommets de la partie occidentale de l'île de Maui et aux sommets de Kauai, à une altitude de 6000 pieds.

Plantes caractéristiques : *Drosera longifolia*, L. — *Viola Kavaiensis*, Gray. — *Viola Maviensis*, H. Mann. — *Vaccinium reticulatum*, Smith. — Quelques Graminées.

A ce tableau à grands traits de la végétation des Iles Sandwich, je joindrai quelques remarques sur certains végétaux par lesquels elles se rapprochent des autres archipels tropicaux de la Mer du Sud. Certaines plantes, propres à l'archipel Hawaii, seront aussi l'objet de remarques particulières. Ces dernières espèces sont désignées par un astérique.

* *Pittosporum*... Le genre est représenté par 6 espèces dont trois arborescentes ; 1° *Pittosporum cauliflorum*, H. Mann ; arbre de 10 mètres de hauteur avec un tronc de 0^m20 à 0^m25 de diamètre ; montagnes de Oahu. — 2° *P. spathulatum*, H. Mann, même *habitat*. — 3° *P. acuminatum*, H. Mann ; haut de 5 m. Kauai, à 1000 mètres d'altitude.

Calophyllum inophyllum, L. Nom, indig. *Kamani*. Ce bel arbre est rare, et de même qu'aux I. Marquises, se trouve plutôt dans les montagnes (ou mieux à mi-côte) qu'au bord de la mer, tandis qu'il est littoral dans beaucoup de localités. Le *C. inophyllum*, ou des espèces très-voisines, est répandu dans toute la zône intertropicale.

Gossypium.... Des Cotonniers poussent spontanément aux îles Sandwich, mais leurs espèces sont loin encore d'être précisées. On sait, du reste, combien les botanistes sont encore peu d'accord à ce sujet.

M. Mann cite : 1° *Gossypium religiosum*, L., dans la région maritime. Il ne différerait pas des espèces *G. Barbadense*, Hook., *G. Taitense*, Parl.

2° *Gossypium tomentosum*, Seeman (*Fl. Vitiensis*), Syn. *G. religiosum*, Gray, *G. Sandvicense*, Remy.

3° *Gossypium drynarioides*, Seeman (*Fl. Vitiensis*), espèce très-distincte des autres, selon M. Remy.

Le Dr F. D. Bennett *(A Whaling voyage round the globe)* signale aux I. de la Société, aux Marquises et aux Sandwich où les indigènes l'appellent *puru*, le *G. vitifolium*, Lamk. Cette espèce aurait été introduite à Tahiti, venant de l'Inde, en 1817. (Cuzent, *O Taïti*, 1860). Le Dr Bennett n'a-t-il pas confondu avec le *G. arboreum* qui se trouve aux Marquises dont les habitants lui donnent un nom qui semble indiquer une provenance étrangère, ou avec le *G. Barbadense*, qu'on rencontre dans le même endroit ?

Hibiscus tiliaceus, L. *Hau* des indigènes. M'a paru moins commun que dans les îles voisines de l'Équateur.

* *Hibiscus Youngianus*, Gaud. Nom indig. *Pua nui*. Grande plante herbacée, très-commune dans la région maritime à Oahu. La tige est armée d'aiguillons aigus. Les fleurs sont grandes, rose-tendre, sans odeur. (Bennett).

Thespesia populnea, L. Déjà rare aux Marquises et aux Iles de la Société, l'est encore davantage aux I. Sandwich.

Je ne trouve pas, dans la liste de M. Mann, l'*Hibiscus Rosasinensis;* je ne l'ai jamais rencontré dans la campagne, mais il est cultivé comme plante d'ornement dans quelques jardins.

Je n'ai pas rencontré non plus l'*Urena lobata*, L. A mon grand étonnement, je ne vois pas M. Mann citer cette plante si commune, si répandue dans des localités très-distantes les unes des autres, grâce à son organisation extrêmement favorable aux transports par adhérence.

Sida rhombifolia, L. Iles Marquises.

Tribulus cistoides, L. Région maritime. Plante herbacée, fleurs pinnées et soyeuses ; fleurs jaunes et d'une odeur assez agréable. Le fruit est une capsule globuleuse armée de longs aiguillons. Elle a été signalée lors de la découverte des îles par Cook.

Oxalis corniculata, L. Plante à aire très-vaste, que nous voyons dans nos jardins et nos champs, et qu'on retrouve en Chine, dans l'Inde, aux I. Marquises, aux I. de la Société, etc., etc. Le Dr Bennett la signale à Sainte-Hélène.

Dodonœa viscosa, L. Iles de la Société (Bennett), N.-Calédonie, N.-Zélande. Dans ce dernier pays, Forster a trouvé l'espèce avec des fleurs hermaphrodites, tandis que le Dr Bennett l'a invariablement rencontrée aux Iles de la Sociéte avec des fleurs dioïques.

Indigofera anil, L. Très-commun à Oahu; importé sans doute, comme il l'a été à Tahiti, par les missionnaires; Nukuhiva.

Tephrosia piscatoria, Pers. M. Mann signale aux Sandwich cette espèce très-commune aux Marquises où on l'appelle *Kohuhu*. M. Bennett ne la signale pas, mais il cite *T. littoralis*, *Aou pïi* des indigènes, plante herbacée poussant sur les plaines arides, aux feuilles pinnées, aux fleurs papilionacées blanches. Les indigènes considèrent cette plante comme un poison pour l'homme, et ils s'en servent (comme on se sert aux Iles Marquises du *T. piscatoria*) pour enivrer le poisson.

* *Erythrina monosperma*, Gaud. *Mohii*, des indig. Plante grimpante, atteignant huit pieds de haut. Fleurs écarlates, papilionacées, en gros épis terminaux (Benn.) M. Mann signale cette plante comme caractéristique de la région maritime; Bennett remarque qu'à Oahu elle se plaît, au contraire, dans les montagnes.

Erythrina corallodendron, L. (*E. Indica*, L. ?). *Viri Viri* des indigènes. Aux Marquises, *Kenaë*; à Tahiti, *Atae* : commun dans ces îles.

Mucuna gigantea, DC. Iles *Marquises*.

Mucuna urens, DC. Ces deux espèces sont signalées

par M. Mann dans la région des forêts. *M. urens* ne m'a paru se trouver aux I. Marquises que sur l'ile d'O. Hivaoa.

Guilandina Bonduc, L. Nom indigène *Kakalioa;* région des forêts. Très-répandu, comme on sait, sur le littoral des trois continents entre les tropiques. Le prodrome de Forster l'indique à la N.-Zélande.

* *Acacia Koa,* Gray, (*Acacia heterophylla,* Hook. *A. falcata,* Bennett), *Koa* des indigènes. Ce nom indique la qualité du bois; car avec sa variante *toa,* il s'applique, dans toute la Polynésie, à tout ce qui est fort et résistant; on l'emploie avec succès dans la charpente et l'ébénisterie. Arbre des forêts hawaiennes.

Il a de grands rapports avec un Acacia de l'Ile de la Réunion, et avec des espèces de l'Australie et de la N.-Calédonie. Aux Iles Sandwich, suivant l'âge du sujet, et aussi suivant la localité où il se trouve, le feuillage subit des changements remarquables. Les jeunes feuilles ont les formes ordinaires dans les acacias, mais, au bout de quelque temps, les stipules prennent un très-grand développement et finissent, sur les vieux arbres, par remplacer le feuillage primitif, mais ce dernier reparait sur les rejetons qui repoussent sur le tronc ou les racines.

Acacia Farnesiana, Willd. Importé.

* *Rubus*... Plusieurs espèces, dont un *Framboisier*. Les naturels en mangent le fruit, de même que ceux d'un *Fraisier* (*Fragaria Chilensis*, Gray et Mann). Ces plantes n'ont pas été, que je sache, rencontrées sur les îles plus voisines de l'équateur.

Metrosideros polymorpha, Gaud. Les feuilles de cet arbre sont *linéaires* vers le sommet de la montagne, et, à mesure qu'on descend, successivement linéaires-lancéolées, lancéolées-ovales, obovales, elliptiques, arrondies, même cordiformes. De glabres et luisantes qu'elles

étaient primitivement, elles deviennent pubescentes, velues et de plus en plus tomenteuses (Gaud.). A la limite supérieure des nuages, ce n'est plus qu'un arbre nain. Nom indigène, *Ohia lehua.*

* Deux autres *Metrosideros*, *M. rugosa*, Gray, et *M. macropus*, Hook et Arn. — Le genre est représenté dans les îles voisines de l'équateur et à la N.-Zélande.

Psidium guajava, L. Importé, de même qu'aux Marquises et aux îles de la Société.

* *Eugenia Sandvicensis*, Gray. Un des plus grands arbres des forêts hawaïennes. Le diamètre du tronc mesure quelquefois d'un mètre à 1m50, à la base.

Eugenia Malaccensis, L. *Oia* des indigènes. Très-répandu dans l'archipel Asiatique, la Polynésie, la N.-Calédonie, etc.

Morinda citrifolia, L. Nom indigène, *Noni.* Mêmes remarques.

* *Gardenia*...Plusieurs espèces. Le genre est représenté dans toute la Polynésie par des espèces peu différentes les unes des autres.

* *Kadua*... Ce genre de Rubiacées est représenté aux Sandwich par 11 espèces. Bennett cite *K. acuminata*, Cham. dont les fleurs odorantes étaient réservées aux personnes de race royale.

Drosera longifolia, L. Cette plante qu'on trouve dans les lieux tourbeux, dans notre pays (1), a été rencontrée par 2400 m. d'altitude aux Iles Sandwich.

Ageratum conyzoïdes, L. — *Eclipta erecta*, L. — Plantes à aire très-vaste. Iles Marquises.

(1) Arrondissement de Valognes (Le Jolis), *Plantes vasculaires des environs de Cherbourg*, Mém. de la Soc. des Sc. Nat. de Cherbourg, T. VII).

* *Vaccinium reticulatum*, Smith.

* *Vaccinium penduliflorum*, Gaud.

Espèces des montagnes ; la dernière ne se rencontre guère avant 3 ou 400 mètres d'altitude. Nom indigène, *Ohelo*. On mange ses petits fruits acides. Les fleurs sont rouges, en forme de cloche, tombantes. Aux Marquises, le genre est représenté, sur les hauteurs, par le *V. cereum*, Forst.

Solanum nigrum, L. Marquises, I. de la Société.

Physalis Peruviana, L. Id. Id.

La première de ces Solanées, plante à aire très-vaste, qu'on rencontre sous les climats les plus divers, se joint, aux Iles Sandwich, à trois espèces du même genre particulières à cet archipel : *S. Nelsonii*, Dunal, *S. Sandvicense*, Hook. et Arn., *S. incompletum*, Dunal. — Je ne trouve pas, dans la liste de M. Mann, le *S. repandum*, Forst., ni aucune espèce de *Datura*. Ces plantes sont, du reste, peu communes aux I. Marquises et aux I. de la Société : leur introduction dans ces deux groupes ne doit pas être très-ancienne.

* *Myoporum Sandvicense*, Gray. Nom indig., *Naiho*; *Sandal bâtard*, des résidents Européens. Arbre de 20 à 40 pieds qui vient à la lisière des forêts, à une altitude moyenne, et affectionne les terrains secs.

Cordia subcordata, Lam. *Kou* des nat. ; *Tou* à Tahiti et aux Marquises. Se rencontre ordinairement au bord de la mer.

Santalum Freycinetianum, Gaud. Cet arbre précieux était autrefois très-commun aux Iles Hawaii, mais on en a tellement coupé et exporté qu'il n'y en a presque plus. On peut, du reste, en dire autant de toutes les îles du Pacifique. Aux Marquises, le Sandal est très-rare, borné à quelques échantillons que leur situation dans des endroits à

peu près inaccessibles a conservés. Bennett signale, dans ce dernier archipel, le *Santalum paniculatum*; d'après M. Mann, ce ne serait qu'une variété du *S. Freycinetianum*, et il en serait de même pour *S. Gaudichaudi*, Gray, *S. ellipticum*, Gray, *S. latifolium*, Gray, qu'on trouve aux Iles Hawaii. En est-il différemment de *S. pyrularium*, Gray, également des îles Sandwich ? (1).

Artocarpus incisa, L. Nom indig., *Uru*. Les arbres à pain sont bien moins communs et bien moins beaux qu'aux Iles de la Société et aux Marquises.

Broussonetia papyrifera, Willd. Nom indig., *Waute*. Cultivé, mais peu répandu aujourd'hui, depuis que nos étoffes ont remplacé l'étoffe du Murier à papier.

Morus pendulina, Endlich. Ce Murier parait être le même que celui qu'on rencontre à l'île Norfolk, à l'autre extrémité de l'hémisphère Sud.

Aleurites triloba, Forst. Nom indig., *Kukui*. Dans toutes les îles tropicales de l'Océanie.

* *Euphorbia multiformis*, Gaud. Arbre avec une assez haute tige dans les montagnes, arbrisseau et sous-arbrisseau de plus en plus chétif à mesure qu'on se rapproche du rivage. Là, même dans les lieux cultivés, il n'a été trouvé qu'à l'état sous-ligneux et herbacé (Gaud. Voy. de l'*Uranie*).

* Quatre autres espèces d'Euphorbes :

E. clusiæfolia, Hook. et Arn. ; *E. Remyi*, Gray ; *E. Hookerii*, Steud. ; *E. cordata*, Meyen.

Pandanus odoratissimus, L. Toute l'Océanie tropicale.

Arum esculentum, Forst. *Kalo*, des indig. ; *Taro*, à Ta-

(1) D'après M. Vieillard, le Sandal de la N.-Calédonie serait une espèce particulière, *Santalum Austro-Caledonicum*, Vieillard.

hiti ; *Tao*, aux Marquises. Cultivé de toute antiquité, et avec un soin remarquable aux Iles Hawaii où il fait la base de l'alimentation.

Tacca pinnatifida, Forst. Toute la Polynésie entre les tropiques, grand archipel d'Asie, Cochinchine, Nord de la N.-Calédonie, etc.

Zingiber Zerumbet, Ross. Iles de la Société, Marquises (Bennett).

Curcuma longa, L. M. Mann *ne signale pas*, aux I. Sandwich, cette plante qu'on trouve à Tahiti et à Nukuhiva (assez peu répandue, il est vrai), et que les naturels de ces îles appellent *rea*, *eka*. Le Dr Bennett l'indique à l'île Pitcairn, aux I. de la Société, aux Marquises et aux Sandwich, où les indigènes l'appellent *rena*.

Dioscorœa bulbifera, Forst. Marquises, Tahiti, N.-Calédonie.

Dioscorœa pentaphylla, Forst. N.-Calédonie.

Cordyline (Dracœna) terminalis, Kunth. *Ki* ou *Ti* aux I. Sandwich ; *Ti* dans toute la Polynésie. Ressemble beaucoup à *C. Australis*, qu'on trouve aux I. Marquises, à Tahiti, à la N.-Calédonie, si ce n'est pas la même espèce.

Scirpus maritimus, L.

Scirpus lacustris, L. — Ces deux espèces qu'on retrouve à l'autre bout du Pacifique, à la N.-Zélande, ne diffèrent pas des espèces d'Europe communes sur notre littoral, (A. Cunningham, A. Richard, Raoul).

Pteris aquilina, L. Il en est de même de cette Fougère qui se retrouverait aussi à la N.-Zélande ; la Fougère la plus commune dans cette contrée, *P. esculenta*, n'en serait qu'une variété (Sir Wm J. Hooker).

Pteris Cretica, L. La même que dans la région Méditerranéenne.

A cette énumération, je pourrais joindre encore un grand nombre d'espèces qui se trouvent sur la plupart des îles intertropicales du Pacifique et dans le grand archipel d'Asie; mais, d'un autre côté, un certain nombre de végétaux caractéristiques des régions chaudes, et qu'on rencontre sur presque tout le pourtour du globe entre les tropiques, ne sont pas représentés aux I. Sandwich: nous n'y rencontrons pas le *Barringtonia speciosa*, ni aucune autre espèce du même genre, ni les *Casuarina,* ni les *Terminalia,* ni le *Cerbera manghas*, ni l'*Abrus precatorius*, ni l'*Inocarpus edulis,* qui forment de véritables forêts à Nukuhiva et à Tahiti.

Parmi les genres qui ne sont pas particuliers à l'archipel Hawaiien, quelques-uns comptent de nombreux représentants sur d'autres terres océaniennes : ainsi les arbres des genres *Pittosporum* et *Acacia* sont très-communs en Australie; les îles du Pacifique Occidental sont les plus riches en espèces du genre *Santalum*; les *Cyrtandra* se rencontrent aux Moluques : aux Iles Sandwich, ce genre compte 14 espèces particulières au pays.

On voit, par les exemples qui précèdent, et qu'on pourrait multiplier (1), que, tout en présentant un caractère particulier, la Flore Hawaiienne a, ainsi que je l'ai dit, de grands rapports avec les Flores intertropicales du Pacifique et de la Malaisie et même avec celles de régions extra-tropicales. Elle offre, de plus, des exemples remarquables de *disjonction d'espèces*, puisque nous voyons, dans ces îles, des plantes qu'on retrouve à la fois dans des stations distantes de milliers de lieues.

(1) M. Mann donne une liste de 151 plantes qu'on trouve aux Iles Sandwich, qui ne sont pas particulières à cet archipel, mais qui n'ont pas été introduites par les Européens. Je n'ai guère cité que les plus importants, ou pour mieux dire, les plus apparents de ces végétaux.

Comment s'est faite la distribution des végétaux sur ces îles si éloignées des autres terres ? Comment les mêmes plantes se trouvent-elles à la fois, par exemple, dans l'archipel d'Asie, aux îles Marquises, aux I. Sandwich, à la N.-Zélande, contrées séparées les unes des autres par d'immenses étendues de mer? Cette question, bien souvent posée, est encore sans doute loin d'être résolue. Pour ma part, j'ai essayé de l'attaquer par ses côtés les plus accessibles, et je n'ai pu réussir à sortir du champ vague des conjectures. J'ai dit seulement celles qui me paraissaient les moins improbables (1).

Si, comme l'ont pensé quelques auteurs, les îles de l'Océanie ne sont que les sommets d'un continent effondré, les épaves d'une nouvelle Atlantide, la présence d'espèces identiques sur des terres, qui ont très-sensiblement le même sol et le même climat, n'a rien d'extraordinaire ; la présence d'espèces particulières dans certaines localités, à climat différent, n'est, dans l'Océanie, que la répétition de ce qui se passe ailleurs, et on n'a pas encore assez soulevé le voile qui couvre les secrets de la création pour dire, d'une manière certaine, comment les choses se sont passées : si, par suite de modifications successives de types peu nombreux, les différentes espèces, rayonnant d'un centre unique, sont arrivées à l'état sous lequel elles se montrent à nos regards, ou bien si elles ont été créées dans des centres différents, formées de toutes pièces comme nous les voyons.

Mais si le continent, dont les îles hautes du Pacifique seraient, au dire de quelques-uns, les sommets sur les-

(1) *Recherches sur l'origine et la provenance de certains végétaux phanérogames observés dans les Iles du Grand Océan.* Mém. de la Soc. des Sc. Nat. de Cherbourg, T. XI, 1865, p. 81.

quels auraient survécu les plantes qui le couvraient, et où les animaux et les hommes auraient trouvé un refuge, si ce continent, dis-je, a, au contraire, totalement disparu, ne laissant à sa place qu'un immense désert d'eau, où les forces plutoniennes ont fait plus tard surgir les îles que nous y recontrons maintenant, il faut chercher une autre explication de la présence des plantes et des animaux sur celles-ci. Tout porte à croire que la naissance des îles a eu lieu conformément à la dernière hypothèse, leur aspect, leurs formes, les récifs madréporiques soulevés à une hauteur quelquefois considérable, et dans un état de bouleversement tel que leur déplacement de bas en haut a dû être violent. Elles sont alors sorties brûlantes du sein de la mer, comme les laves qu'on voit encore sortir aujourd'hui des cratères de Hawaii, et, sans doute, pendant des années, des siècles, les éruptions se sont suivies pour amener les îles à leur relief actuel : des siècles se seront encore peut-être écoulés pour les disposer à recevoir les germes de la végétation ; mais ces germes auront dû forcément venir du dehors, puisque les laves brûlantes ne pouvaient les contenir : comment alors ces germes ont-ils été apportés ?

Je ne répéterai pas ce que j'ai dit déjà (1) : je rappellerai seulement les conclusions de M. Gaudichaud à ce sujet : (2).

1° « Les plantes des îles Sandwich ont manifestement deux origines :

2° « Celles du rivage, précédemment désignées sous le » nom de *littorales Océaniennes*, doivent provenir des » archipels situés dans l'Est de l'Asie.

(1) Voir, dans les Mém. de la Société des Sc. nat. de Cherbourg, T. XI, 1865, l'article cité.

(2) Voyage de l'*Uranie*, Botanique.

3° « Elles ont pu y arriver, soit par l'impulsion des » flots de la mer, soit par les premiers navigateurs insu- » laires.

4° « Les plantes de la région montagneuse, sans cesse » baignée par les nuages, ont dû être déposées originaire- » ment par les courants aériens et surtout par les vapeurs » électrisées.

5° « Les végétaux de ces régions supérieures ou des » plages, qui pénètrent dans cette partie de la montagne » que nous avons nommée *torride,* y éprouvent insensi- » blement des altérations diverses, des changements par- » ticuliers qui paraissent se perpétuer ensuite, du moins » tant que ces végétaux restent dans les mêmes circon- » stances. Toutefois cependant, sous le masque qui les » couvre, on reconnaît encore quelques-unes des formes » qu'ils avaient dans l'origine. »

Mais on est bien obligé de convenir que ces réponses hardies à des demandes bien neuves, et également bien hardies à l'époque à laquelle l'éminent botaniste les posait, n'avancent pas beaucoup la question. M. Mann compte 377 plantes phanérogames propres aux Iles Sandwich : il est bien possible qu'un jour on reconnaisse que, pour quelques-unes de ces plantes, il y ait double emploi, qu'on en retrouve une partie ailleurs, mais il est bien probable que, sur 377 espèces, un certain nombre seront bien reconnues comme ne se trouvant qu'aux Iles Sandwich. Pour le moment, 39 genres, partagés en 151 espèces, sont dans ce cas. D'où viennent les germes de ces espèces ? Ces germes étaient-ils, à l'origine, les mêmes que ceux de plantes différentes, mais des mêmes familles, et les influences du nouveau milieu auront-elles agi sur ces germes de manière à les transformer ?

Quant aux plantes phanérogames communes à d'autres

îles, qui existaient aux îles Sandwich avant l'arrivée des Européens, celles principalement qui habitent les rivages ou les stations voisines, doivent-elles leur introduction à l'intervention des hommes ou à l'impulsion des courants de la mer ? Pour ce qui est de cette dernière influence, je ferai remarquer que les Iles Hawaii sont soumises, le plus généralement, à des courants partant du N.-E. au S.-O. qui y amènent quelquefois de gros troncs d'arbres de la côte Nord-Ouest de l'Amérique : ces courants constitueraient un obstacle à l'arrivée *directe* des graines d'espèces tropicales de l'archipel d'Asie qui est situé dans l'O. S.-O. des Iles Hawaii. De plus, j'ai déjà dit maintes fois qu'un des végétaux les plus fréquents sur le littoral dans l'archipel d'Asie, le *Barringtonia speciosa*, dont on rencontre très-souvent les gros fruits flottant sur la mer, et qui est un des premiers arbres qui envahissent les plages tropicales, ne se trouve pas aux Sandwich.

Le Cocotier, le Pandanus, le Cordyline, l'Arbre-à-pain, le Kalo, sont considérés comme des végétaux indigènes, les deux derniers surtout qui sont cultivés de toute antiquité. Ils sont pourtant de provenance étrangère. Ont-ils été apportés par les premiers émigrants qui sont venus peupler les Sandwich quand elles sont devenues habitables ? Pour le Cocotier, c'est possible, mais pour le Kalo et l'Arbre-à-pain, le cas est différent. Le Kalo ne conserve pas longtemps sa vitalité ; l'Arbre-à-pain n'est reproduit par les agriculteurs polynésiens qu'au moyen des rejetons qui poussent à la base du tronc près des racines, et qui ne pourraient se conserver pendant le temps nécessaire pour venir de la terre la plus voisine. Faut-il supposer que les premiers sujets de l'espèce ont été introduits à une époque où les fruits avaient encore des semences, comme l'espèce (ou la variété) dont j'ai vu un assez grand nombre d'échan-

tillons à Tié, côte Nord-Est de la N.-Calédonie? Cela nous ramènerait sans doute bien loin en arrière.

On voit combien de points restent encore à éclaircir pour expliquer la parure variée des terres océaniennes. Je renverrai le lecteur à ce que j'ai dit à ce sujet (*Mém. de la Soc. des Sc. Nat. de Cherbourg, T. XI*) dans un article où j'ai réuni tout ce que l'observation des faits, la discussion des traditions, ont pu m'apprendre; mais combien est infiniment petit ce qu'on sait sur cette question, en comparaison de ce qu'on ne sait pas!

Avant l'arrivée des Européens, les indigènes cultivaient le *Kalo* (*Taro,* à Tahiti, *Arum esculentum,* Forst.) avec une habileté remarquable. La racine de cette plante fait la base de leur nourriture, car ils ne sont pas aussi favorisés que les habitants de quelques autres archipels, qui, pendant la plus grande partie de l'année, n'ont que la peine de cueillir leur manger sur les Arbres-à-pain voisins de leurs demeures (1).

Aux Iles Sandwich, le Kalo occupe la majeure partie des terres cultivées, surtout celles qui peuvent être inondées. Les champs sont ordinairement carrés ou oblongs, d'une superficie généralement d'un ou deux ares. On commence par creuser la terre à deux ou trois pieds: le terreau qu'on retire sert à faire une petite chaussée tout alentour du champ dont la surface est battue jusqu'à ce

(1) L'*Arum esculentum* est cultivé, plus ou moins, dans la plupart des îles du Pacifique. Aux Marquises il est rare: à peine en voit-on, çà et là, quelques pieds. Aux I. de la Société, il est cultivé avec presque autant de soin qu'aux I. Sandwich. A la N.-Calédonie, on en compte au moins 20 variétés. La culture du *taro* est à peu près nulle maintenant à la N.-Zélande, où l'on a introduit des plantes alimentaires d'Europe plus faciles à cultiver.

qu'elle devienne imperméable à l'eau. Après cette préparation, on prend les sommets des racines coupées juste au-dessous des feuilles, et on les plante, à 0m 50 ou 0m 60 les unes des autres, sur une mince couche de terreau et d'herbe sèche, qu'on laisse ensuite recouverte d'eau jusqu'à ce que les feuilles flottent à la surface. On garde ainsi les racines dans l'eau jusqu'à ce qu'elles soient bonnes à manger, c'est-à-dire de neuf à quinze mois : elles continuent néanmoins à croître pendant deux ans. Les irrigations et les soins nécessaires à cet Arum requièrent un travail assidu. Les racines sont cuites dans les fours creusés en terre dont on retrouve l'usage dans toutes les îles de la mer du Sud, et chez presque tous les peuples primitifs. Une fois cuites, on les écrase avec un pilon en pierre dure, et, en ayant soin de les mouiller constamment avec de l'eau, on les bat jusqu'à ce qu'on obtienne une masse de pâte adhérente, la *poi*, forme sous laquelle le Kalo est ordinairement mangé. Cette bouillie se conserve pendant plusieurs jours. On fait aussi de la *poi* sèche en se contentant d'écraser la racine cuite, sans y mettre d'eau. On ne la mange pas sèche, mais on la garde par petits paquets enveloppés dans des feuilles, et on la délaye à fur et mesure des besoins. La *poi* sèche est une des principales provisions des indigènes quand ils voyagent snr mer (1).

(1) Aux Marquises on fait une bouillie semblable, la *popoi*, avec les fruits de l'Arbre-à-pain. On en conserve des quantités considérables, pour les moments où les fruits ne donnent pas, dans des espèces de silos, tapissés de feuilles de *ti* (*Cordyline terminalis*). J'ai vu de la *popoi-ma* — ainsi qu'on appelle la *popoi* sèche, — conservée de cette manière depuis plus de cinquante ans. L'odeur aigre, provenant de ces silos, qu'on sent dans toute la campagne, affecte très-désagréablement les nouveau-venus. (*Archipel des Marquises*, H. Jouan; Revue Maritime et Coloniale, 1857-1858).

La racine de Kalo cuite au four ou bouillie, coupée ensuite par tranches et frite, est un bon manger. C'est, de toutes les racines des pays chauds, celle qui se rapproche le plus de la pomme de terre et dont on se fatigue le moins.

Au Kalo, les indigènes joignaient les bananes dont il y avait au moins deux espèces, mais assez peu savoureuses. La banane *Fehïi*, si commune dans les montagnes à Tahiti, où elle entre pour beaucoup dans l'alimentation, n'existe pas aux Iles Sandwich. La patate douce, plusieurs ignames, des citrouilles, la canne à sucre, étaient encore des mets en usage, mais la dernière n'était guère considérée que comme une friandise (1).

Les Européens ont successivement introduit un grand nombre de plantes alimentaires de nos jardins; les indigènes n'en font aucun cas, cependant quelques-uns les cultivent pour les vendre aux navires. Les melons et les pastèques ont parfaitement réussi et possèdent une saveur exquise : les chirimoyas du Pérou, les vignes (en treille), les pêchers et les figuiers, donnent des produits passables. Sur les hauteurs de Maui on cultive d'excellentes pommes de terre, et on y faisait quelquefois, à l'époqne où j'étais dans l'archipel, deux récoltes par an de très-bon froment dont la farine commençait à être exportée dans les autres îles du Pacifique. On commençait aussi, dans ce temps là, à fabriquer, avec les noix de l'*Aleurites triloba*, une huile siccative ayant presque les propriétés de l'huile de lin (2).

(1) M. Mann considère le Papayer comme ayant été peut-être introduit par les naturels (*perhaps of aboriginal introduction*); il paraîtrait, cependant, qu'à la fin du siècle dernier, il n'avait pas encore pénétré dans les îles du Pacifique ; Forster ne le signale nulle part.

(2) J'ai employé avec succès, pour la peinture en plein air, de l'huile d'*Aleurites triloba*, fabriquée avec les procédés les plus

Il est plus que probable qu'on ferait venir avec succès le coton, le café, le mûrier, le tabac, le cacao, mais, à l'exception des deux premières, je ne crois pas qu'on ait essayé ces cultures.

IV.

RÈGNE ANIMAL.

Les questions posées au sujet de l'origine de la Flore Hawaiienne, de ses ressemblances ou de ses différences avec d'autres Flores, reparaissent à propos de la Faune, et les réponses sont tout aussi peu satisfaisantes : aussi ne m'en préoccuperai-je pas. De même que la Flore, la Faune a des rapports avec celles des îles plus voisines de l'équateur, mais elle s'en écarte dans certains cas, ce que la situation géographique et la différence de climat permettaient aussi de supposer. Toutes ces Faunes ont un point commun, la pauvreté.

Quand les Européens abordèrent la première fois aux Iles Sandwich, ils n'y trouvèrent que des Chiens semblables à ceux qu'on avait déjà vus à Tahiti (1), qui ne servaient qu'à l'alimentation et aux sacrifices, des Porcs,

grossiers, les seuls à ma disposition. Cette huile est excellente pour la préparation des savons et pour l'éclairage : elle brûle en donnant une belle lumière, sans répandre de mauvaise odeur comme l'huile de coco, et elle n'a pas, comme cette dernière, le défaut de détériorer les lampes en cuivre. Pour les détails complets sur cette huile, voir Cuzent, *O-Taïti,* 1860.

(1) Ces chiens, un variété de *basset à jambes torses*, trouvés sur plusieurs îles du Pacifique, ont perdu leurs caractères de race par suite de leurs croisements avec les chiens introduits par les Européens. Les Iles Marquises n'en avaient sans doute pas; les premiers voyageurs en auraient parlé, et ils n'en disent

que Cook déclarait être meilleurs que ceux des autres îles de la mer du Sud (ils ont donc bien changé depuis lors !), et une toute petite espèce de Rats, qui a été presque entièrement détruite par les gros rats échappés des navires.

Les Chevaux, introduits au commencement du siècle, se sont beaucoup multipliés : de petite taille, la tête grosse, ils ne sont pas élégants, mais ils rachètent ce défaut par leur vivacité. Les indigènes, les femmes surtout, ont une passion frénétique pour l'équitation. Les bœufs, importés un peu avant cette époque, sont en grand nombre (1). Beaucoup de Chèvres vivent maintenant à l'état sauvage, principalement à Maui. On trouve aussi, dans des endroits écartés, des Lapins qui se sont enfuis des habitations : j'ai dit précédemment qu'une colonie de ces rongeurs vivait sur l'ilot de Lehua. Les étrangers ont introduit dans leurs basses-cours, avec les Poules indigènes, les Canards domestiques, et de petits Dindons gris qui étaient à l'épo-

mot. Il pourrait se faire qu'il y eût encore aux I. Sandwich, quelques-uns de ces chiens qu'on mangeait. Pendant mon séjour à Honolulu, un des membres de la famille royale donna, à des officiers des navires de guerre étrangers, un repas auquel, à mon grand regret, je ne pus assister. Dans le menu, uniquement composé de mets indigènes, figurait du chien qui fut trouvé très bon. L'animal qui avait fourni ce plat avait-il été nourri d'une manière particulière, exclusivement avec des végétaux, par exemple? C'est à supposer. A la N.-Zélande il y avait aussi des chiens, probablement de la même race qu'à Tahiti et à Hawaii. Dans certains cantons, des troupes de chiens vivent à l'état sauvage et causent beaucoup de dégâts en détruisant les jeunes porcs, les volailles.

(2) De grandes bandes de bœufs, devenus sauvages, habitent les solitudes de Hawaii ; on leur fait la chasse pour leurs peaux ; Les porcs errants sont aussi très-nombreux.

que de mon séjour à Oahu, un article important d'exportation.

Les canaux, qui séparent les îles, sont fréquentés par des Dauphins de diverses espèces, *Marsouins, Blackfishes, Orques*, etc. : autrefois on y rencontrait des Cachalots qui ont disparu aujourd'hui devant les baleiniers.

Les premiers explorateurs mentionnent les Oiseaux comme étant assez nombreux ; il est probable que les rats en auront détruit beaucoup, comme cela a eu lieu dans les archipels du Sud. En dehors des oiseaux de rivage, il y a peu d'oiseaux aujourd'hui au bord de la mer : à peine ai-je vu, dans le voisinage de Honolulu, quelques passereaux aux couleurs ternes. Les bois des hautes régions sont plus habités : c'est là qu'on trouve encore les Nectarins dont les plumes brillantes entraient dans la confection des manteaux de cérémonie des chefs, mais le mode de fabrication de ces vêtements devait entraîner l'extermination d'une grande quantité d'oiseaux. Le *Mamo*, manteau de gala des rois, que j'ai vu exposé dans une réception officielle de Kamehameha III, a, en hauteur, 1^{m}20, sur plus de 4^{m}50 de développement. Les plumes qui le composent sont attachées sur un tissu, un filet à mailles très-étroites, de manière à être imbriquées les unes sur les autres. Chaque plume a à peine 2 centimètres 1/2 de longueur : le tout forme une surface soyeuse d'un jaune d'or éclatant. On dit que, sur chacun des oiseaux qui fournissent ces plumes, il n'y en a que deux qui puissent servir : ceci me paraît exagéré. Dans tous les cas, il faut un nombre considérable de ces oiseaux, de la taille d'un merle, et qui n'ont que quelques plumes jaunes dans leur robe, à moins que ce que dit Dixon, qui visita les îles Hawaii en 1782, ne soit vrai. D'après ce navigateur, les naturels s'empareraient facilement au moyen de piéges, d'un Guêpier qui porte ces plumes, et ils le

lâcheraient après avoir arraché ces dernières qui repousseraient. MM. Quoy et Gaimard (Voy. de l'*Uranie*, Zool.) rapportent qu'ils ont bien aperçu, dans les vallées profondes, quelques-uns de ces oiseaux, mais qu'ils n'avaient pas paru du tout faciles à approcher : aussi le dire de Dixon semble-t-il demander confirmation. Ces deux naturalistes se plaignent de n'avoir jamais pu se procurer, ni même voir vivant, l'*Heorotaïre (Certhia vestiaria)*, petit oiseau dont les plumes d'un rouge éclatant étaient employées pour les vêtements et les bonnets de cérémonie. Déjà Cook n'avait pu s'en procurer en vie, mais à Kauai, où eut lieu sa première entrevue avec les naturels du groupe, ces derniers vendirent aux Anglais des peaux de ces oiseaux. La beauté des vêtements et des espèces de casques avaient excité l'admiration des navigateurs, et, certainement, le *mamo* vaut plus que beaucoup de pierreries et d'objets précieux gardés dans les trésors des souverains de l'Europe.

Dans les *Proceedings* de la Société d'Hist. Nat. de Boston (séance du 17 février 1869), on trouve une énumération de 48 oiseaux des Iles Hawaii (1), due à M. Sandford B. Dole, de Honolulu, comprenant les espèces décrites avec certitude jusqu'à présent. Comme le plus grand nombre des oiseaux vivent dans les forêts et les régions montagneuses, il est à présumer que beaucoup ont échappé aux voyageurs ne passant que quelques jours dans les ports ; aussi M. Dole estime-t-il que cette liste ne donne qu'un peu plus de la moitié de la Faune Ornithologique de l'archipel : je dirai même que des oiseaux marins, les Fous, qui fréquentent les côtes, n'y figurent pas. Malgré cela, la compa-

(1) *A Synopsis of the Birds hitherto described from the Hawaiian Islands, with notes by Sandford B. Dole, etc., etc.*

raison, avec les espèces qu'on rencontre aux Iles de la Société et aux Iles Marquises, montre au premier coup d'œil, que la Faune ornithologique hawaiienne. — tout en ayant des rapports avec celle de ces deux groupes — est différente et beaucoup plus riche. Sur les 48 espèces énumérées par M. Dole, 9 seulement se retrouvent aux Iles Marquises, savoir: *Tatare Taitensis*, Less. — *Ardea sacra*, Gmelin. — *Totanus brevipes*, Vieill. — *Charadrius fulvus,* Gmelin. — *Gygis candida,* Bonap. — *Anous stolidus,* Leach. — *Phaeton phœnicurus,* Gmelin. — *Phaeton æthereus*, L. — *Tachypetes aquila,* Vieill.

Ces oiseaux se retrouvent également sur presque toutes les terres de la Polynésie tropicale, et sur neuf, huit sont des oiseaux de rivage.

D'un autre côté, si les Iles Sandwich ont de plus que les Iles de la Société et les Marquises, des Oiseaux de proie (un Diurne et deux Nocturnes), des Nectarins et des Guêpiers, qui forment le caractère dominant de la population ornithologique des bois hawaiiens, un Corbeau, des Ralles, une Oie, deux Canards, on n'y rencontre ni Perroquets(1), ni

(1) M. Dole ajoute à sa liste trois Perroquets : *Psittacus pyrrhopterus*, Lath., *P. australis*, Gmelin, *Psittacula Kuhlii*, Vigors. Le premier se rencontre à Guayaquil. Il est douteux qu'aucun Perroquet existe naturellement aux îles Sandwich. Le Dr Bennett (*loc. cit.* T. 2, p. 250) parle d'une petite espèce au riche plumage pourpre, habitant dans les montagnes; mais d'un autre côté, M. Brigham, dans ses longues courses par tout l'archipel, n'a jamais vu d'oiseaux de cet ordre, et on doit s'en rapporter à lui plus qu'à un voyageur de passage. La situation en latitude des I. Sandwich ne doit pourtant pas être un empêchement à la présence des Perroquets, car on en voit à la N.-Zélande et dans l'Amérique méridionale, sous des parallèles plus rapprochés du pôle.

Pigeons (1), ni Coucous, représentés dans presque toutes les îles Océaniennes par de belles espèces. L'*Eudynamis Taïtensis*, Sparm., qu'on retrouve à la N.-Zélande, ne figure pas dans la liste de M. Dole, dans laquelle on ne voit pas non plus d'Hirondelles : il serait bien étonnant que cette famille, qui compte des représentants dans tous les climats chauds et tempérés, n'en eût pas aux Iles Sandwich. Si la liste de M. Dole n'en contient pas, c'est probablement parce qu'il n'était pas certain de leur détermination : il est à présumer que la petite Salangane (*Collocalia fuciphaga*, Bonap.), qui se trouve aux Marquises et dans d'autres localités, et une autre espèce (*Kivi*, des Nukuviens), existent également dans l'archipel Hawaiien.

Trois Échassiers et un Palmipède seraient identiques à des espèces qu'on rencontre en Europe, et qui, du reste, semblent être cosmopolites : *Charadrius fulvus, Charadrius hiaticula, Gallinula chloropus, Anas clypeata*

La synonymie des oiseaux signalée par M. Dole est encore bien compliquée et bien confuse, comme on peut le voir ci-après :

Rapaces.

I. — PANDION SOLITARIUS, Cassin, *U. S. Expl. Exped.*
Buteo solitarius, Peale, id.

Long^r^ 0^m^42. Brun en-dessus, blanc-jaunâtre en-dessous.
Habitat. Hawaii, Niihau, Molokai.

2. — STRIX DELICATULA, Gould.

Strix lulu, Peale.
Kaio ?des indigènes.
Est-ce la même qui est signalée à la N.-Calédonie ?

1 Je ne compte pas les descendants des Pigeons domestiques échappés des habitations.

3. — BRACHYOTUS GALLAPAGOENSIS, Gould.

Strix Sandvicensis, Bloxham.
Pueo, des indigènes.

Méliphagidés.

4. — MOHO NIGER, Gmelin.

Mohoa nobilis, Merrem.
Merops niger, Gm. (*fasciculatus*, Lath. — *Gracula nobilis*, Merr. — *Epimachus pacificus*, Licht. — *Acrulocercus niger*, Caban. — *Moho niger*, Gr.). Ex insulis Sandw. Oahu. — *Niger, lateribus crissoque flavis, rectricibus lateralibus apice albis*, (Bonap. *Conspect. gener. avium*).
F. D. Bennett, *A Whaling Voyage round the globe. T. 2. p.* 250.

Long^r 0^{m}35. — Le manteau royal est fait avec les plumes jaunes de cet oiseau.

5. — MOHO BRACCATA, Cassin.

Plus petit que le précédent.

6. — MOHO ANGUSTIPLUMA, Peale.

Oo, des indigènes.

7. — MOHO APICALIS, Gould.

Plumage noir-fuligineux.

Proméropidés.

8. — DREPANIS COCCINEA, Merrem., Gassin.

Mellisuga coccinea, Merrem.
Certhia coccinea, Gmelin.
C. vestiaria, Latham.
Certhia coccinea et obscura, Gm. (*vestiaria*, Lath. — *vestiaria evi* et *akaroa*, Less. — *Drepanis coccinea*, Gr.). Ex insul. Sandw. (Bonap. *Conspect. gener. av.*).

Les ailes et la queue noires, le reste du plumage écarlate. Long[r] 0^m15. Autrefois très-recherché pour ses plumes. *Hab.* Hawaii.

9. — DREPANIS PACIFICA, Gmelin.

Long[r] 0^m20. *Hab.* Hawaii, Kauai.

« *Nigra, subtus obscura, dorso inferiore, uropygio crissoque flavis; tectricibus alarum inferioribus niveis, caudæ superioribus et nonnullis alarum interioribus flavis, rostro valde curvato* » (Dole).

Certhia pacifica, Gm. (*Vestiaria hoho,* Less.) Vieill. Ex insul. Amic. (Bonap. (1) *Conspect. gener. av.*).

10. — DREPANIS SANGUINEA, Gmelin.

Apapane des indigènes.

Long[r] 0^m125. *Hab.* Hawaii, Kauai.

« *D. sanguinea, remigibus caudaque nigris* » (Dole).

Certhia sanguinea et virens, Gm. (*Nectarinia Byronensis* et *flava,* Blox. — *Phyllornis Tonganensis,* Less. — *Drepanis sanguinea,* Gr.) (Bonap.).

Certhia peregrina, signalé par le D[r] F. D. Bennett, au plumage vert-olivâtre, est probablement la femelle. Il est à remarquer que, très-souvent dans les oiseaux, quand le mâle est rouge écarlate ou cramoisi, la femelle est verte.

Certhia sanguinea, Gm. (*Myzomela sanguinea,* Gr.) Ex insul. Sandw. (Bonap.).

11. — DREPANIS FLAVA, Bloxham, Voy. de la « *Blonde.* »

Amakiki, des indig.

Le cou, la tête, le ventre jaunes, le dessous du corps olivâtre.

(1) Cette espèce se trouve-t-elle aussi dans l'archipel Tonga ou des Amis ? N'y a-t-il pas erreur de la part de l'auteur du *Conspectus* ?

12. — HEMIGNATHUS LUCIDUS, Cassin.

Nectarinia lucida, Lichtenstein.
Vestiaria heterorhynchus, Lesson.
Drepanis lucida, G. R. Gray.
Nectarinia lucida, Licht. (*Heterorhynchus olivaceus*, Lafr. — *Vestiaria heterorhyncha*, Less. — *Drepanis lucida* et *olivacea*, Gr.) (Bonap. *Conspect. gener. av.*).

Figuré dans l'Atlas du voyage de la *Vénus*, Oiseaux, pl. I. (Dole) (1).
Hab. Oahu.

13. — HEMIGNATHUS OBSCURUS, Cassin.

Certhia obscura, Gmelin.
Drepanis Ellisiana, Gray.
Iwi, des indigènes.

Plumage vert-olive, tacheté de jaune.
Hab. Hawaii, Maui, Oahu, Kauai.

14. — HEMIGNATHUS OLIVACEUS, Cassin.

Heterorhynchus olivaceus, Lafresnaye.
Certhia olivacea, Gmelin.

15. — MYZOMELA NIGRIVENTRIS, Peale.

Myzomela melanogastra, Bonaparte.

Long^{r} 0^{m}11. *Hab*. Hawaii, forêts épaisses.
Le dessus du corps, la tête, le cou, la poitrine écarlates; les ailes, la queue, le ventre, noirs. Bec et pieds noirs. Les deux sexes ont le même plumage.

(1) Sous le nom de *Hemignathus olivaceus*. Les figures 1 et 2, (mâle et femelle), pl. I de l'Atlas de la *Vénus* ne répondent pas du tout à la description de l'*H. olivaceus*, Cassin, donnée par M. Dole.

Muscicapidés.

16. — MUSCICAPA MACULATA, Gmelin.

Couleur ferrugineuse en dessus, plus claire en dessous. Du blanc aux couvertures des ailes. Espèce incertaine ?

Turdidés.

17. — TATARE OTAITENSIS, Lesson.

Sitta otatare, Lesson, Voy. de la *Coquille*, Atl. pl. 23.
Tatare fuscus, A. Lesson.
Tatare longirostris, Gmelin.
Tatare longirostris, Pelzeln, Voy. de la *Novarra*.
Tatare rousserolle, Hombron et Jacquinot.

J'ai parlé ailleurs (1) de cet oiseau commun aux Iles Marquises et aux Iles de la Société.

18. — TURDUS SANDVICENSIS, Gmelin.

Collurincla (?) *Sandvicensis*, Gray.
Amaui, des indigènes.
« *T. supra et abdomine fuscescens ; subtus et fronte ex cinereo albus ; rostro pedibusque atris ; cauda æquali.* » (Dole).

Long^r 0^{m}13.

Ampélidés.

19. — TÆNIOPTERA OBSCURA, Cassin.

Muscicapa obscura, Latham. — *Phæornis obscura*, Sclater.— *Chasiempsis obscura*, Finsch et Hartlaub.— *Eopsaltria obscura*, Gray. — *Dusky fly-catcher*, des résidents.

Le mâle a les parties supérieures brun-rouge ; cendré sur le devant de la tête et le dessus du corps. La femelle à une bande fauve sur les ailes ; le dessous du corps blanchâtre. Long^r 0^{m}155.

(1) Mémoires de la Soc. des Sc. nat. de Cherbourg, T. VI, p. 858.

20. — EOPSALTRIA SANDVICENSIS, Gmelin.

Muscicapa Sandvicensis, Latham, Bloxham.
Chasiempsis Sandvicensis, Finsch et Hartlaub, Caban.
Elepaio, des indigènes.

Long^r^ 0^m^14. Roussâtre en dessus, blanchâtre en dessous. Du blanc au-dessus des yeux, des stries noires sous le menton. Du blanc aux épaules, aux couvertures et aux rectrices. Le bec jaunâtre à sa base. Les plumes très-molles, écartées.

Corvidés.

21. — CORVUS HAVAIIENSIS, Peale.

Corvus tropicus, Gmelin.
Alala, des indigènes.
« *Totus fuliginosus, cinereo tinctus, rostro et tarsis nigris.* » (Dole).

Long^r^ 0^m^50. Kealakeakua (Hawaii). MM. Brigham et Mann l'ont vu à 2000 mètres d'altitude. Il est probable qu'il n'y a pas d'autre espèce dans l'archipel, et celle-ci semble compter peu d'individus.

Fringillidés.

22. — HYPOLOXIAS COCCINEA, Gmelin.

Fringilla coccinea, *Scarlet Finch*, Latham.
Loxops coccinea, Gray.
Akepa, des indigènes.

Long^r^ 0^m^125.

Fringilla coccinea, Gm. (*brevirostris* Gr.! *nec* Gould. — *Carduelis coccineus*, Vieill. — *Linaria coccinea*, Gould. — *Loxops coccinea*, Caban. — *Hypoloxias coccinea*, Licht. — *Byrseus coccineus*, Reich.). Ex insul. Sandw. Mas. *testaceo-coccinea*; Fœm. *virens*, *subtus rubescens* (Bonap. *Conspect. gener. av.*).

lâcheraient après avoir arraché ces dernières qui repousseraient. MM. Quoy et Gaimard (Voy. de l'*Uranie*, Zool.) rapportent qu'ils ont bien aperçu, dans les vallées profondes, quelques-uns de ces oiseaux, mais qu'ils n'avaient pas paru du tout faciles à approcher: aussi le dire de Dixon semble-t-il demander confirmation. Ces deux naturalistes se plaignent de n'avoir jamais pu se procurer, ni même voir vivant, l'*Heorotaïre (Certhia vestiaria)*, petit oiseau dont les plumes d'un rouge éclatant étaient employées pour les vêtements et les bonnets de cérémonie. Déjà Cook n'avait pu s'en procurer en vie, mais à Kauai, où eut lieu sa première entrevue avec les naturels du groupe, ces derniers vendirent aux Anglais des peaux de ces oiseaux. La beauté des vêtements et des espèces de casques avaient excité l'admiration des navigateurs, et, certainement, le *mamo* vaut plus que beaucoup de pierreries et d'objets précieux gardés dans les trésors des souverains de l'Europe.

Dans les *Proceedings* de la Société d'Hist. Nat. de Boston (séance du 17 février 1869), on trouve une énumération de 48 oiseaux des Iles Hawaii (1), due à M. Sandford B. Dole, de Honolulu, comprenant les espèces décrites avec certitude jusqu'à présent. Comme le plus grand nombre des oiseaux vivent dans les forêts et les régions montagneuses, il est à présumer que beaucoup ont échappé aux voyageurs ne passant que quelques jours dans les ports; aussi M. Dole estime-t-il que cette liste ne donne qu'un peu plus de la moitié de la Faune Ornithologique de l'archipel: je dirai même que des oiseaux marins, les Fous, qui fréquentent les côtes, n'y figurent pas. Malgré cela, la compa-

(1) *A Synopsis of the Birds hitherto described from the Hawaiian Islands, with notes by Sandford B. Dole, etc., etc.*

raison, avec les espèces qu'on rencontre aux Iles de la Société et aux Iles Marquises, montre au premier coup d'œil, que la Faune ornithologique hawaiienne. — tout en ayant des rapports avec celle de ces deux groupes — est différente et beaucoup plus riche. Sur les 48 espèces énumérées par M. Dole, 9 seulement se retrouvent aux Iles Marquises, savoir : *Tatare Taitensis*, Less. — *Ardea sacra*, Gmelin. — *Totanus brevipes*, Vieill. — *Charadrius fulvus,* Gmelin. — *Gygis candida,* Bonap. — *Anous stolidus,* Leach. — *Phaeton phœnicurus,* Gmelin. — *Phaeton æthereus*, L. — *Tachypetes aquila,* Vieill.

Ces oiseaux se retrouvent également sur presque toutes les terres de la Polynésie tropicale, et sur neuf, huit sont des oiseaux de rivage.

D'un autre côté, si les Iles Sandwich ont de plus que les Iles de la Société et les Marquises, des Oiseaux de proie (un Diurne et deux Nocturnes), des Nectarins et des Guêpiers, qui forment le caractère dominant de la population ornithologique des bois hawaiiens, un Corbeau, des Ralles, une Oie, deux Canards, on n'y rencontre ni Perroquets(1), ni

(1) M. Dole ajoute à sa liste trois Perroquets : *Psittacus pyrrhopterus*, Lath., *P. australis*, Gmelin, *Psittacula Kuhlii*, Vigors. Le premier se rencontre à Guayaquil. Il est douteux qu'aucun Perroquet existe naturellement aux îles Sandwich. Le Dr Bennett (*loc. cit.* T. 2, p. 250) parle d'une petite espèce au riche plumage pourpre, habitant dans les montagnes; mais d'un autre côté, M. Brigham, dans ses longues courses par tout l'archipel, n'a jamais vu d'oiseaux de cet ordre, et on doit s'en rapporter à lui plus qu'à un voyageur de passage. La situation en latitude des I. Sandwich ne doit pourtant pas être un empêchement à la présence des Perroquets, car on en voit à la N.-Zélande et dans l'Amérique méridionale, sous des parallèles plus rapprochés du pôle.

terre. Je crois bien qu'elle existe aussi aux Iles de la Société, aux Iles Marquises, à la N.-Calédonie.

35. — CHARADRIUS HIATICULA, Latham.

Ulili, des indigènes.

Espèce, de même que la précédente, presque cosmopolite.

36. — STREPSILAS INTERPRES, Cassin.

Tringa Oahuensis, Latham.
Cinclus interpres, Gray.

On retrouve ce Tourne-pierres dans des contrées très-éloignées les unes des autres, l'Europe, les Iles Sandwich et Madagascar, par exemple.

Anatidés.

37. — BERNICLA SANDVICENSIS, Vigors.

Anser Hawaiiensis, Eydoux et Souleyet, Voy. de la *Bonite*, Atlas, pl. 10.

Hab. les hauteurs de Mauai et de Hawaii. Ces Oies ne se voient que très-rarement sur le rivage, tandis qu'on les trouve par grands troupeaux sur les plateaux de lave, à 6 ou 7,000 pieds d'altitude, où elles trouvent à vivre copieusement avec les graines de l'*Ohelo (Vaccinium penduliflorum)*. Elles nichent dans l'herbe : les femelles pondent deux ou trois œufs blancs, de la grosseur ordinaire des œufs d'oie. (Dole).

« *Anser capite, nucha auchenioque nigro, subflavo torque, alteroque fusco.* » (Eyd. et Soul. *Voy. Bonite*. Zool. p. 104).

38. — ANAS SUPERCILIOSA, Gmelin, G. R. Gray.

Var. *Sandvicensis*, Bonaparte.
Koloa, des naturels.

N.-Calédonie, partie Nord de la N.-Zélande.

39. — ANAS CLYPEATA, Gmelin.

Spatula clypeata? Gray.
Moha, des indigènes.

Espèce très-répandue dans l'hémisphère Nord.

L'*Anas boschas*, L., var. *domestica,* Bonap., *Kaka,* des indigènes, est aujourd'hui naturalisé dans tout l'archipel. D'après M. Cassin (Catalogue des oiseaux rapportés par l'*U. S. Surveying Expedition*, etc. *Proceedings of the Acad. of Nat. Sciences of Philadelphia)*, l'*Anas boschas*, notre *Canard sauvage,* existerait aux îles Sandwich.

Laridés.

40. — STERNA BERGYII, Lichtenstein.

Sterna rectirostris, Peale.
Sterna poliocerca, Cassin.
Thalassus Bergyii, Blas.
Sylochelidon poliocerca, Gray.

Le dos, les ailes, la queue, blanc-bleuâtre ; le front, les joues et le dessous du corps, blanc pur ; du noir au sommet de la tête et à la nuque. L'iris noir ; le bec jaune ; les pieds noirs.

41. — STERNA PANAYA, Finsch et Hartlaub.

Sterna panayensis, Gmelin.
Sterna Oahuensis, Bloxham.
Haliplana panayensis, Bonaparte.
Sterna serrata, Gray.
Kala, des naturels.

Brun fuligineux ; la nuque et le dessus de la tête brun-noir ; une bande brun-noir sur l'œil. L'iris brun. Bec et pieds noirs.

42. — GYGIS ALBA, Cassin.

Sterna alba, Sparmann. — *Sterna candida,* Gmelin.

Océanie centrale, mers de l'Inde, etc., etc.

43 — ANOUS STOLIDUS, Cassin, Leach.

Anous stolidus et *frater,* Coues.
Anous pileatus et *stolidus,* Pelzeln.
Anous niger, Stephens.
Oio, des indigènes.

Océanie centrale, N.-Calédonie.

Pélécanidés.

44. — PHAETON RUBRICAUDA, Boddaert.

Phaëton phœnicurus, Gmelin.

Très-commun, surtout à Niihau et à Kauai.
Iles Marquises, N.-Calédonie.

45. — PHAETON ÆTHEREUS, Linné.

« *P. albus, dorso nigro fasciolato et undulato, rostro læte rubro; iride flava* » (Finsch et Hartl.).

46. — TACHYPETES AQUILUS, Vieillot.

Tachypetes Palmerstonii, Cassin.
Atagen aquilus, Gray.

Niche en grand nombre à Nihoa.

Procellaridés.

47. — THALASSIDROMA.....

Espèce non déterminée.

48. — PROCELLARIA ALBA, Gmelin.

Æstrelata leucocephala ? Bonaparte.
Uau, des indigènes.

Long^{r} 0^{m}40. Plumage noir-brun en dessus; la gorge,

la poitrine, le ventre et les environs de l'anus, blancs. La queue arrondie. Le bec noir.

En dehors des Tortues marines (*Testudo mydas*, L.) qu'on rencontre quelquefois dans les canaux de l'archipel, la classe des Reptiles n'est représentée aux Iles Hawaii que par un petit Scinque et un Gecko, sans doute *Gecko Oceanicus*, Less. Les individus de ces deux espèces ne m'ont même pas paru très-nombreux. On voit que c'est la même pauvreté que dans les îles voisines de l'équateur.

La pêche est d'une grande ressource pour les Hawaiiens et, de plus, on conserve beaucoup de poissons dans des viviers.

La comparaison des observations des voyageurs a fait reconnaître l'existence d'une grande province marine qui s'étend, plus ou moins loin en latitude, de chaque côté de l'équateur, et comprend les mers qui baignent les îles de la Polynésie, s'avance jusqu'aux côtes de Chine, enveloppe l'archipel Malais et une partie des côtes de l'Australie, et s'étend, à travers l'Océan Indien, jusqu'aux rivages de l'Afrique. Dans cette vaste région, on rencontre à peu près les mêmes genres d'animaux marins, et souvent, à de très-grandes distances, les mêmes espèces, ou des espèces très-voisines. En ce qui concerne les Poissons, les formes de couleurs brillantes et de moyenne taille dominent, particulièrement les Squammipennes et les Labroïdes. C'est le cas des Iles Sandwich, et il avait frappé MM. Quoy et Gaimard pendant leur court séjour avec l'*Uranie*. « Les » îles volcaniques des Sandwich, disent-ils (*Zool.*, p. 150), » principalement celles dont les eaux sont limpides, sont

» plus spécialement habitées par les Labres. On ne voyait,
» pour ainsî dire, que des poissons de ce genre dans les
» pirogues qui revenaient de la pêche. »

Ces deux naturalistes, sur vingt-cinq poissons observés par eux aux Iles Hawaii, comptent neuf Labroïdes. MM. Eydoux et Souleyet, sur la *Bonite,* ont ajouté treize espèces à celles de leurs prédécesseurs. Pour ma part, je n'ai eu que très-peu d'occasions d'observation pour ce qui est de la Faune Ichthyologique, mais le peu que j'en ai vu m'a démontré qu'elle avait de nombreux rapports avec les Faunes des archipels de l'autre hémisphère, plus voisins de la Ligne.

Voici la liste des espèces signalées par les naturalistes cités, à laquelle j'ai joint quelques indications du Dr F. D. Bennett, et quelques remarques : je renvoie à ces auteurs pour la description des espèces :

1. *Carcharias,....* Valenc.
2. *Lophius (Chironectes) Sandvicensis,* F. D. Bennett. Figuré, *loc. cit.*, T. 2. p. 258.
3. *Chironectes reticulatus,* Eyd. et Soul. Atl. *Bonite,* pl. 5.
4. *Chironectes leprosus,* Eyd. et Soul. Atl. *Bonite,* pl. 5.
5. *Balistes angulosus,* Q. et G. Zool. *Uranie,* p. 210.
6. *Balistes Sandwichensis,* Q. et G. Zool. *Uranie,* p. 216.
7. *Tetrodon lacrymatus,* Cuv. Zool. *Uranie,* p. 204.
8. *Tetrodon stellatus,* Lacép. Atl. *Bonite,* pl. 10.
9. *Conger marginatus,* Valenc. Atl. *Bonite,* pl. 9.
10. *Murœna Valenciennii,* Eyd. et Soul. *(Murœnophis catenula,* Lacép.) Atl. *Bonite,* pl. 8.
11. *Gymnothorax....* F. D. Bennett. très-grande espèce, tachetée de blanc et de noir.
12. *Cheilion auratus,* Lacép., Q. et G. Atl. *Uranie,* pl. 54.
13. *Chœtodon miliaris,* Q. et G. Atl. *Uranie,* pl. 62 ; Eyd. et Soul. Atl. *Bonite,* pl. 2.
14. *Chœtodon lunulatus,* Q. et G.
15. *Glyphisodon abdominalis,* Q. et G.

16. *Pomacentrus punctuatus*, Q. et G. Atl. *Uranie*, pl. 66. Très-ressemblant à l'espèce de l'île Maurice.

17. *Pomacentrus nigricans*, Q. et G.

18. *Acanthurus humeralis*, Valenc. Atl. *Bonite*, pl. 2.

19. *Caranx pinnulatus*, Eyd. et Soul. Atl. *Bonite*, pl. 3. N'est-ce pas le même poisson que *Elegatis bipinnulatus*, figuré par le Dr Bennett, *loc. cit.*, T. 2, p. 283? Très-probablement.

20. *Caranx stellatus*, Eyd. et Soul. Atl. *Bonite*, pl. 3. Iles Marquises.

21. *Scomber pelamys* L.? Une belle espèce de Bonite se rencontre dans toute la partie tropicale du Grand-Océan. Lapérouse rapporte que ses deux navires, allant de l'Ile de Pâques aux Iles Sandwich, furent accompagnés, pendant près d'un mois et demi, par des Bonites qui ne les quittèrent qu'à leur arrivée à Maui.

22. *Gobius stamineus*, *Gobie à filets*, Eyd. et Soul. Atl. *Bonite*, pl. 5.

23. *Salarias gibbifrons*, Q. et G.

24. *Trigla....* F. D. Bennett.

25. *Scarus formosus*, Valenc. Atl. *Bonite*, pl. 6.

26. *Julis Gaimardi*, Q. et G. Atl. *Uranie*, pl. 54.

27. *Julis Duperreyi*, Q. et G. Atl. *Uranie*, pl. 56.

28. *Julis Geoffroyi*, Q. et G. Atl. *Uranie*, pl. 56.

29. *Julis balteatus*, *Girelle raie-aurore*, Q. et G. Atl. *Uranie*, pl. 56.

30. *Julis axillaris*, Q. et G.

31. *Anampses Cuvier*, Q. et G. Atl. *Uranie*, pl. 55.

32. *Gomphosus tricolor*, *Comphose Lacépède*, Q. et G. (*Gomphosus viridis*, Cuv. *ex* Lacép.) Atl. *Uranie*, pl. 55.

33. *Gomphosus pectoralis*, *Gomphose Commerson*, Q. et G.

34. *Cheilinus sinuosus*, Q. et G.

35. *Xirichthys Leclusii*, *Rason Lécluse*, Q. G.

36. *Mullus multifasciatus*, Q. et G. Atl. *Uranie*, pl. 59.

37. *Mugil cephalotus*, Eyd. et Soul. Atl. *Bonite*, pl. 4.

38. *Mugil Chapsalii*, Eyd. et Soul. Atl. *Bonite*, pl. 4.

39. *Chanos cyprinella*, Valenc. Atl. *Bonite*, pl. 7.

40. *Exocœtus.....*

41. *Saurus variegatus*, Q. et G. Atl. *Uranie*, pl. 48.

42. *Saurus gracilis*. Q. et G. Ces deux espèces, que Commer-

son signale à l'île Maurice, se retrouvent, je crois bien, à la N. Calédonie.

43. *Belone*.... Une espèce (la même qu'aux Iles Marquises) très-voisine de l'Orphie de nos mers.

Je ne dirai que peu de choses des Mollusques des Iles Sandwich, mes observations personnelles ayant été très-limitées, ou plutôt très-peu précises. Elles ont cependant suffi pour me montrer que la Faune Malacologique hawaiienne ressemble beaucoup à celle des Iles de la Société et des Marquises. Les auteurs cités plus haut ne donnent pas non plus beaucoup de détails : ils n'énumèrent qu'un très-petit nombre de Mollusques marins. Il est probable que des recherches sur les récifs madréporiques de Oahu, par exemple, seraient fructueuses.

Les Coquilles terrestres sont assez communes. On compte un assez grand nombre d'Hélictéres, mollusques qui semblent être plus répandus aux Iles Sandwich qu'ailleurs. En général, ces coquilles, de forme conique, sont de petite dimension ; les plus grandes ont à peine 0^{m}015 de hauteur. La plupart sont ornées de belles couleurs.

CÉPHALOPODES. — *Poulpe Hawaiien, Octopus hawaiiensis*, Q. et G., Atl. *Bonite*, pl. 1.
GASTÉROPODES. — *Doris Sandwichiensis*, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, pl. 25.
— *Doris lineata*, Eyd. et Soul.
— *Aplysia Oahuensis*, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, pl. 25.
— *Helix vulpina*, Férussac, Atl. *Uranie*, pl. 68 (Coq. terr.).
— *Helix contorta*, Férussac, (Coq. terr.).
— *Helix gravida*, Férussac, Atl. *Uranie*, pl. 68 (Coq. terr.).
— *Helix decora*, Férussac (Coq. terr.).
— *Helix lugubris*, Chemn. (Coq. terr.).

GASTÉROPODES. — *Helix lorata*, Férussac, Atl. *Uranie*, pl. 68 (Coq, terr.).
— *Helix spirizona*, Férussac (Coq. terr.).
— *Helix turritella*, Férussac (Coq. terr.).
— *Helix textilis*, Férussac, Atl. *Uranie*, pl. 68 (Coq. terr.).
— *Helix Sandwichiensis*, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, pl. 30.
— *Lymnæa Oahuensis*, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, pl. 29.
Hab. ruisseaux de Oahu.
— *Lymnæa affinis*, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, pl. 29.
— *Auricula Sandwichiensis*, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, pl. 29.
— *Trochus Sandwichiensis*, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, pl. 37.
— *Littorina serialis*, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, pl. 34.
— *Nerita Taïtensis*, Less. — Iles Marquises, Iles de la Société.

Parmi les Acéphales, on reconnaît la *Pintadine Mère-perle* (*Mytilus margaratiferus*, L.); les perles sont assez communes, mais de peu de valeur.

Les *Tarets* (*Teredo navalis* ? L.) sont très-communs, au point qu'une embarcation, laissée à la mer, est percée dans l'espace d'une nuit. Le Dr F. D. Bennett raconte — et j'ai reconnu la vérité de son dire — que, sur un navire à l'ancre dans le port de Honolulu, par une nuit tranquille, on entend sans cesse un petit bruit semblable à celui qu'on produirait en grattant du papier avec une épingle : ce sont les Tarets qui cherchent à percer les feuilles du doublage en cuivre garantissant les bordages de la carène contre leurs attaques.

Les récifs, quoique peu étendus, doivent cependant abriter une nombreuse population d'Annélides et de Crustacés. Parmi ces derniers, les naturalistes français ont décrit et figuré :

Dans les Décapodes Brachyures :

Pelœus armatus, Eyd. et Soul., Atl. de la *Bonite*, Crust. pl. 1.

Trapezia flavo-punctata, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, Crust. pl. 2.

Trapezia tigrina, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, Crust. pl. 2.

Domecia hispida, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, Crust. pl. 2.

Trichodactylus punctatus, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, Crust. pl. 2.

Dynomena Latreillii, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, Crust. pl. 3.

Macropthalmus podophthalmus, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, Crust. pl. 13.

Calappe Sandwichiensis (Var. *Calappe tuberculata*, Fabr.), Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, pl. 3. — Iles Marquises.

Ces espèces sont en général de petite taille et peu utilisables pour l'alimentation.

Dans les Décapodes Macroures :

Palinurus Marginatus, Quoy et Gaimard. Atl. *Uranie*, pl. 81. Cette *Langouste*, excellent manger, se retrouve aux Iles Marquises. Je l'ai rencontrée à la N.-Calédonie.

Dans les Anomoures :

Pagurus guttatus, Olivier. Atl. *Uranie*, pl. 79.

Dans les Stomapodes :

Squilla quadrispinosa, Eyd. et Soul., Atl. *Bonite*, Crust. pl. 5.

Dans les Isopodes :

Oniscus asellus, L., *Cloporte* ordinaire, signalé par F. D. Bennett ; sans doute introduit par les navires.

De grandes Araignées, très-nombreuses, sont nuisibles aux jeunes arbres et aux arbrisseaux dont elles contrarient la croissance en les recouvrant avec leurs toiles résistantes.

Une grosse Tarentule.. *Lycosa* sp....? Bennett.

De même que dans les autres îles de l'Océanie, les Insectes sont peu nombreux, et, encore, on reconnaît que leur nombre a été augmenté, comme cela semble avoir eu lieu aussi dans toutes les îles du Pacifique, par des importations du dehors. Les naturels accusent les navigateurs de leur avoir fait de funestes cadeaux, des Moustiques, des Puces, des Cancrelas, des Cent-pieds, qui sont communs dans les ports fréquentés. Le Dr F. D. Bennett signale un Cent-pieds, long de 8 à 10 pouces, ayant les parties supérieures du corps brun-jaune, les côtés de l'abdomen bleus. Il signale encore une autre espèce, *Scolopendra electrica*, qui habite les maisons de Honolulu, émettant une lueur phosphorescente, et laissant, après son passage, une traînée lumineuse.

Le nombre des Papillons, comme dans toutes les îles de la Mer du Sud, est très-petit. Citons, d'après Bennett, deux Vanesses, l'une qui ressemble beaucoup au *Vulcain (Vanessa Atalanta)*, l'autre qui ne paraît différer en rien de *Vanessa cardui*, L. (1). La chenille, aux Iles Sandwich, vit sur l'espèce d'argémone dont j'ai parlé.

Un *Sphinx* (*Sphinx pungens*, F. D. Bennett), très-voisin de l'espèce qu'on voit aux Iles de la Société, se rencontre dans les pâturages des environs de la mer.

Quoique les Papillons ne soient pas très-nombreux, ils le sont cependant assez pour que leurs chenilles causent des dégâts importants auxquels il faut ajouter ceux qu'occasionne une espèce de Pucerons. En général, on peut dire que la plupart des insectes de l'archipel sont nuisibles.

---

(1) La *Vanessa cardui* d'Europe se retrouve à la N. Zélande, à l'autre extrémité du diamètre de la terre.

Je ne dirai rien des animaux Rayonnés, Echinodermes, Acalèphes, Polypes, très-nombreux comme dans toutes les mers, mais probablement moins que dans les archipels du Sud, où des baies profondes et des canaux abrités doivent permettre à un plus grand nombre de ces êtres de se développer. J'ai reconnu un Oursin, que MM. Eydoux et Souleyet ont appelé *Echinometra hastata*, le même dont nous employions à Nukahiva les aiguillons pierreux, gros et courts, pour faire des crayons à ardoises. Mais mon intention n'est pas de faire une énumération, même incomplète, des productions naturelles de l'archipel : — le voudrais-je, que cela serait bien au-dessus de mes forces — mais seulement d'en donner un aperçu qui permette, ainsi que je l'ai dit en commençant, de comparer les îles Hawaii avec quelques autres terres du même genre, et je crois que ce qui précède répond suffisamment au but proposé.

V.

POPULATION.

Après cet aperçu des productions de l'archipel Hawaiien, il ne sera peut-être pas hors de propos de dire quelques mots des hommes qui l'habitent.

Les Hawaiiens appartiennent au rameau humain que la plupart des ethnologues ont appelé *Malayo-Polynésien*, à cette race parlant des dialectes d'une même langue, qui diffèrent moins les uns des autres que l'Espagnol, le Portugais, l'Italien et le Français ne diffèrent entre eux, et présentant surtout des caractères zoologiques constants (1).

(1) Peau de couleur basanée, d'un jaune lavé de bistre, plus ou moins foncé, très-clair chez quelques-uns, et presque brun chez d'autres. Cheveux noirs, gros, lisses, quelquefois frisés.

Cette race occupe les îles éparses sur une vaste portion du Grand-Océan, qui comprend plus de 1,200 lieues en latitude, des îles Sandwich à la N.-Zélande, et 1,400 de l'Est à l'Ouest, de l'île de Pâques à Tikopia, sa limite occidentale. La présence des hommes sur des îles, quelquefois très-éloignées des grandes terres, ou séparées les unes des autres par des étendues de mer considérables, la similitude des dialectes parlés, et ce fait, étrange au premier abord, qu'au lieu de trouver les rapports les plus directs entre le langage des îles les plus voisines, il arrive, dans quelques cas, que la plus grande ressemblance ait lieu entre les idiômes des terres les plus éloignées, ont donné, et donnent, matière à des controverses dont le dernier mot n'est pas dit. J'ai essayé de résumer ailleurs (1), en y joignant les observations que j'ai pu faire sur les lieux, les opinions des auteurs qui m'ont paru les plus compétents sur ce sujet (2), les différentes hypothèses qu'ils ont émises : un continent effondré dont les îles actuelles seraient les sommets ayant servi de refuge aux

Yeux noirs, plus fendus qu'ouverts, nullement obliques. Nez long, droit, quelquefois aquilin ou bosselé ; narines larges, ouvertes, le faisant paraître quelquefois un peu épaté, surtout chez les femmes et les enfants : chez eux aussi, les lèvres qui, en général, sont un peu grosses et arquées, sont légèrement proéminentes. Dents belles, incisives larges ; pommettes un peu larges, nullement saillantes, élargissant le visage qui est cependant plus long que large. (H. Jacquinot, *Voy. au Pôle Sud et en Océanie*, *Zool. T. II.*, *p. 238*).

(1) *Les populations de l'Océanie*; Mémoire lu à la Soc. Académique de Cherbourg, décembre 1858 — nos du 8 et du 22 décembre 1859 du journal *La Science pour tous.*

(2) Cook, Forster, Marsden, Rienzi, Prichard, Hombron, H. Jacquinot, Dumont D'Urville, Kotzebue, Beechey, Hales, Gaussin, C. Henricy, de Quatrefages, J. Garnier, etc., etc.

restes de la population primitive, ou bien le peuplement à la suite d'immigration du dehors ; la discussion des points de départ des émigrants, les migrations successives, etc. Je ne rappellerai pas ces suppositions plus ou moins ingénieuses, mais aussi plus ou moins contestables, la première surtout(1). Je renverrai à ces différents auteurs, entre autres au travail de M. de Quatrefages (2), et à celui de M. Jules Garnier (3) : ces deux écrivains me paraissent avoir résumé et exposé, le plus clairement entre tous, deux opinions contraires, mais parfaitement défendables, entre lesquelles je laisse le lecteur juge.

A leur arrivée dans les îles, les Européens furent frappés de la différence d'aspect entre les chefs et les hommes des classes inférieures. Les premiers étaient tous de grande taille, très-obèses une fois arrivés à un certain âge : les vieilles femmes, en général, étaient véritablement monstrueuses. Les seconds ne dépassaient pas la taille moyenne des Européens, et leur constitution semblait plutôt délicate que robuste. C'était cependant bien la même

(1) Cette hypothèse d'un continent immergé a été surtout présentée par d'Urville qui la basait principalement sur la similitude du langage d'un bout à l'autre de la Polynésie. Il est probable qu'en effet un continent a autrefois occupé une grande partie de la surface actuelle de l'océan Pacifique, mais, d'un autre côté, rien ne démontre que les habitants des îles, qui ont remplacé ce continent, soient les descendants des hommes qui le peuplaient. L'étude du langage, sur laquelle d'Urville avait fondé son opinion, semble, au contraire, prouver que le berceau des Polynésiens de nos jours a été une île d'où ils ont rayonné sur les autres. Maintenant d'où venait la population de cette île ?

(2) *Les Polynésiens et leurs migrations.*

(3) *Migrations humaines en Océanie, d'après les faits naturels.*

race. Ce contraste, qui, à la première vue, aurait pu en faire douter, était dû à la différence dans la manière de vivre des grands et des gens du peuple. Ceux-ci étaient soumis à des corvées continuelles, constituant un véritable servage, tandis que les autres ne faisaient rien. Aujourd'hui il n'y a plus autant de disparate, mais on voit encore des individus des hautes classes qui passeraient pour des géants. Quoique habitant plus loin de l'équateur que les Nukuhiviens et les Tahitiens, les *Kanaks* (1) des Sandwich ont le teint plus foncé et sont moins beaux surtout que les premiers. Les femmes sont, en général, de grande taille ; elles ont les traits plus délicats que les hommes, mais les deux sexes se ressemblent peut-être plus dans ces îles que partout ailleurs dans la Mer du Sud. Somme toute, l'impression qu'on éprouve à leur vue ne leur est pas favorable, surtout quand on a passé par Tahiti où la population est si rieuse. Les Hawaiiens, quelque bons et affables qu'ils soient, ne sont pas avenants : Vancouver, dont l'affection pour eux rend le témoignage impartial dans ce cas, se plaint de leur froideur et de leur taciturnité. A l'époque où j'étais aux Iles Sandwich, la petite vérole, qui avait

(1) *Kanak* est le mot employé par les marins pour désigner les naturels des diverses îles de la Mer du Sud, quelle que soit leur race. Ce mot ne devrait s'appliquer pourtant qu'aux individus de race polynésienne. *Kanaka* aux Sandwich, veut dire : *homme du pays*, *autochtone*. Par suite de transformations qu'on ne saisit pas tout d'abord, mais qui n'ont rien d'étrange pour les personnes familières avec les dialectes de la langue polynésienne, *Kanaka* devient *Taata* à Tahiti, *Tangata* aux Iles Tonga, sur plusieurs îles de l'archipel Pomotu, à la N.-Zélande, *Kenata*, *Kenana*, *Enana*, aux Iles Marquises. Tous les individus étrangers à la race polynésienne, blancs, noirs, métis, sont désignés par le mot *haoë*.

sévi avec intensité quelques mois auparavant, avait eu une funeste influence sur l'aspect général de la population : on rencontrait alors peu d'individus des deux sexes qui n'en portassent pas les marques.

Le tatouage, qui, du reste, n'a jamais été beaucoup en honneur, est à peu près aboli dans la génération actuelle. Les mœurs étaient les mêmes que dans les autres îles Polynésiennes, et, sous beaucoup de rapports, elles n'ont guère changé. L'anthropophagie avait sans doute existé dans des temps reculés, mais, au temps de Cook, elle avait déjà disparu. L'usage du *kawa*, ou *awa*, était alors général ; les liqueurs fortes l'ont remplacé, et je ne crois pas qu'on ait beaucoup gagné au changement.

Cook, ou plutôt son continuateur King, estimait la population de l'archipel entier à 400,000 âmes. Ce nombre était évidemment exagéré. D'après les récensements faits, tant bien que mal, par les missionnaires, la population était de 142,000 individus en 1823, de 130,000 en 1832, de 108,580 en 1836. La petite vérole, qui parut en 1845 et en 1846, enleva, dit-on, plus de 10,000 personnes ; l'épidémie de 1853 fut encore plus funeste ; en 1861, on ne comptait plus que 67,000 âmes dans tout l'archipel. On retrouve donc aux Iles Sandwich, ainsi que dans toute la Polynésie, les effets de cette loi fatale qui semble peser sur certaines races primitives aussitôt qu'elles viennent en contact avec la civilisation. L'historien des Iles, Jarves, donne des raisons de cette dépopulation qui paraissent valables. Les corvées imposées au petit peuple par les chefs redoublèrent après la venue des Européens : le désir de posséder les richesses qu'ils apportaient développèrent chez les maîtres de la nation des idées de convoitise qu'ils n'avaient jamais eues. Il fallait du bois de sandal à tout prix pour payer les étrangers, et les pauvres naturels fu-

rent obligés d'escalader des montagnes, jusqu'alors réputées inaccessibles, pour chercher le bois précieux qu'ils rapportaient sur leurs épaules saignantes. L'abandon de l'agriculture amena des disettes avec leur cortège habituel de maladies. Les guerres de Kamehameha Ier, avant qu'il n'eût achevé la conquête de tout l'archipel, firent aussi périr beaucoup de monde.

Avant l'arrivée de Cook, les maladies étaient peu nombreuses et simples. Leur gravité augmenta, en même temps qu'on manquait des connaissances et des remèdes nécessaires pour arrêter leur progrès. La terminaison presque toujours funeste des affections morbides développa, chez les individus atteints, un profond sentiment d'abandon d'eux-mêmes. Les sauvages tiennent naturellement peu à la vie : on en voit beaucoup qui, atteints de maladies souvent insignifiantes au début, meurent *faute d'énergie pour vivre*. Sourds à toute espèce d'encouragement, ils se laissent mourir comme des animaux. J'ai été témoin de ce fait dans toutes les îles du Pacifique que j'ai visitées. Selon Jarves, les effets funestes des liqueurs fortes et de la débauche ont été exagérés : les coutumes des indigènes sont meilleures qu'avant la découverte, alors que l'ivresse produite par le kava, et la promiscuité la plus révoltante, étaient à l'ordre du jour. Cependant les maladies causées par le libertinage ont envahi toute la race, et semblent l'avoir, pour ainsi dire, frappée de stérilité : les jeunes femmes sont inféconds et le chiffre des décès l'emporte sur celui des naissances.

Une autre cause de maladies, sur laquelle on a peut-être passé trop légèrement, c'est l'adoption des vêtements étrangers. Autrefois l'habillement était simple, en rapport avec le climat: mais bientôt, désireux d'imiter les Européens, on jeta les vieux costumes de côté, pour les rem-

placer, imparfaitement le plus souvent, par les vêtements étrangers qu'on pouvait obtenir. La fortune des chefs leur permettait de s'habiller au complet, mais il n'en était pas de même du pauvre qui, suivant sa richesse du moment, se contentait des vieilles et sordides guenilles abandonnées par le matelot venant de la mer polaire, ou se drapait dans les fines soieries de la Chine. Le même individu portait pendant des semaines un vêtement trop chaud pour le climat, puis ensuite restait pendant un temps aussi long dans un état de nudité à peu près complète. Avec le beau temps, le brillant soleil, venait l'envie d'étaler les vêtements les plus luxueux, mais, à la menace d'une averse, les élégantes, plutôt que de gâter leurs nouvelles toilettes, exposaient leurs corps nus à l'orage. Toutes les fois qu'il y avait quelque travail à faire, les choses se passaient de même. La saison où des vêtements auraient été nécessaires pour conserver au corps une température uniforme, était justement celle où l'on n'en portait pour ainsi dire pas, tandis qu'on s'en couvrait quand on aurait pu s'en passer. Les constitutions, déjà affaiblies par les causes rapportées plus haut, supportaient mal un pareil traitement. Les refroidissements et les fièvres prirent de plus en plus de gravité, et amenèrent des complications et souvent des résultats funestes, que la moindre prudence eût écartée, mais les naturels ont toujours mis de côté les règles les plus simples de l'hygiène.

Aujourd'hui tout le monde est vêtu, dans les villes au moins, car dans les campagnes, loin des centres de population, on garde encore les habitudes anciennes. Je dirai même que les Hawaiiens ont adopté, en général, un usage que je regarde comme un des principaux progrès en civilisation, celui des souliers: car j'ai remarqué, chez tous les peuples primitifs que j'ai vus, que la mode de nos chaus-

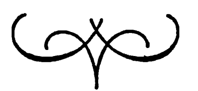
sures était la plus difficile à faire adopter ; à Tahiti, il s'en faut qu'on soit aussi avancé sur ce point qu'à Honolulu.

On peut voir, par tout ce qui précède, que l'archipel Hawaiien n'a pas été traité par la nature aussi libéralement que quelques-uns des groupes de l'hémisphère Sud. Peu de végétaux utiles y croissent spontanément : il faut que l'homme achète le soutien de son existence par un travail incessant, comme dans nos climats ; mais il faut reconnaître que ce défaut de spontanéité, en forçant les indigènes au travail, avait développé chez eux un état social beaucoup plus avancé qui les rendait plus aptes à la civilisation. Un chef, non-seulement extraordinaire pour un sauvage, mais qui eût passé partout pour un homme supérieur, se trouva là, pour ainsi dire exprès, pour diriger le mouvement civilisatenr quand les Européens parurent. Après cela, peut-on dire que le besoin de civilisation qui s'était emparé de Kamehameha, et que son indomptable énergie avait imposé à ses sujets, ait tourné à l'avantage de ce petit peuple ? Combien de temps les Hawaiiens ont-ils encore à vivre de la vie de nation qu'on leur a faite, en admettant toutefois qu'ils en vivent ? Pour ma part, j'ai bien peur que tout notre système de civilisation, le mécanisme gouvernemental, la morale sévère qu'on a essayé d'inculquer à ces fils de l'instinct, ne leur fassent l'effet d'un rêve — d'un mauvais rêve encore ! On voit, à leur attitude résignée, qu'ils sentent que ce régime n'est pas fait pour eux : il semble que quelque chose leur dit que leur fin est proche. Cette attitude résignée se retrouve dans tous les groupes du Pacifique où les populations sont venues en contact avec la civilisation, surtout avec ses plus impitoyables représentants, les Anglo-Saxons. On dirait qu'elle est mortelle pour ces peuples. M. Jarves prétend qu'en se plaçant à un point de vue plus élevé,

on doit arriver à la conclusion contraire. Selon cet auteur, le mouvement de dépopulation a été plus considérable sous les règnes de Kamehameha et de son successeur Liho-Liho, qu'aujourd'hui (1). Le despotisme sans frein des chefs est tombé de lui-même ; des lois favorables à l'accroissement de la population ont porté leurs fruits. M. Jarves fait un tableau flatteur du nouvel esprit qui semble animer le peuple, de sa régularité à fréquenter les écoles et les temples : la dégradation, tant physique que morale, disparaîtrait rapidement. J'ai bien peur que le digne missionnaire ne se paye d'illusions ; pour ma part, le tableau me semble considérablement embelli : il n'y a pour en être convaincu qu'à passer le soir devant le théâtre de Honolulu, les jours de représentation. J'aimerais mille fois mieux que tout ce qu'il dit fut rigoureusement vrai, persuadé que je suis que ce serait au grand bénéfice de cett belle race Polynésienne, si sympathique à tous ceux qui ont vécu longtemps avec elle (2).

(1) M. Jarves écrivait en 1843, avant l'apparition de la petite-vérole et de la fièvre bilieuse, qui ont fait tant de victimes dans les îles de la mer du Sud.

(2) Depuis que ces *Notes* ont été écrites, le journal anglais l'*Illustrated London News*, dans son numéro du 14 décembre 1872, a annoncé qu'une nouvelle éruption du Mauna-Loa avait eu lieu à la fin d'août de cette année.



DE LA

FLORAISON DES GRAMINÉES

PAR

M^r le Dr A. GODRON,

Doyen honoraire de la Faculté des Sciences de Nancy,
Correspondant de la Société.

On s'est peu occupé jusqu'ici d'étudier les phénomènes que présente la floraison des Graminées. Nos céréales seules paraissent avoir été l'objet de quelques observations, le blé principalement. Mais les résultats publiés sont loin de concorder entre eux et ne sont pas, du reste, l'expression complète de la réalité. Il m'a semblé qu'il y avait intérêt à connaître comment s'opère, dans cette famille, l'ouverture de la fleur et les dispositions qui assurent le transport du pollen sur les stigmates. Les fleurs diffèrent beaucoup de celles des autres plantes monocotylées, à ce point que, pour désigner plusieurs de leurs organes floraux et même pour distinguer leur inflorescence la plus habituelle, on s'est vu dans l'obligation d'employer des noms spéciaux. De plus, les modifications

nombreuses que ces organes nous présentent, méritent d'autant mieux d'être étudiées que cette famille, l'une des plus nombreuses en espèces, est en même temps l'une des plus naturelles. La floraison des Graminées doit donc offrir quelque chose de spécial et montrer dans les détails des phénomènes quelques modifications en rapport avec les dispositions organiques.

Nous nous occuperons d'abord de la floraison des Graminées sauvages.

Nous étudierons ensuite la floraison de nos céréales.

Enfin, la floraison des *Ægilops* fixera notre attention et nous rechercherons les circonstances spéciales qui permettent au pollen du Froment d'atteindre les stigmates des *Ægilops ovata L.* et *triaristata Willd.* pour produire des hybrides entre ces végétaux.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA FLORAISON DES GRAMINÉES SAUVAGES.

Nous nous proposons tout d'abord d'exposer les faits généraux relatifs aux modifications si nombreuses que présente l'inflorescence dans cette famille, puisque c'est d'elles que dépendent le groupement des épillets et la direction dressée, étalée, penchée ou pendante qu'affectent les fleurs. Nous étudierons ensuite, avec détails, les phénomènes généraux relatifs à l'ouverture des fleurs, à la sortie des étamines et à l'anthèse des anthères, à l'émergence des stigmates et à leur direction au moment où ils doivent recevoir la poussière pollinique. Car, c'est de la combinaison de ces dispositions diverses, que résultent, comme nous le verrons, les différents procédés naturels de fécondation.

Chacun sait que les fleurs des Graminées sont disposées en épillets pourvus presque toujours de deux bractées générales (*glumes*) et de deux bractées florales (*glumelles*) ; que ces épillets sont tantôt pluriflores, à fleurs toujours alternes-distiques, tantôt uniflores, mais généralement par suite d'avortement d'une ou deux fleurs dont on retrouve assez souvent les traces. Ces épillets terminent les dernières divisions d'une inflorescence très-rameuse et spéciale à la famille des Graminées, qui a reçu le nom de *panicule* ; ses axes secondaires, d'autant plus allongés qu'ils sont plus inférieurs, forment presque toujours à chaque nœud un demi-verticille et ces demi-verticilles alternent entre eux le long de l'axe primaire. Les divisions principales sont très-rameuses. Telle est la *panicule proprement dite*. Mais si les nœuds de l'inflorescence sont très-rapprochés et les axes latéraux, plus ou moins rameux, extrêmement raccourcis, l'ensemble a l'apparence d'un épi composé ; mais, comme cette inflorescence dérive de la panicule, nous l'avons, dans notre *Flore de France*, désignée sous le nom de *panicule spiciforme*. Enfin, l'inflorescence peut se simplifier encore et les épillets, devenus sessiles sur l'axe primaire, sont alternes-distiques, plus rarement alternes et unilatéraux, et sont disposés en *épi simple*.

L'ordre, suivant lequel s'opère la floraison dans la panicule proprement dite, est constant : elle commence au sommet, si l'on en excepte deux ou trois fleurs dressées qui terminent l'inflorescence, et a lieu de la même façon sur ses divisions, mais toujours successivement du sommet à la base. Lorsque les épillets sont disposés en panicule spiciforme ou en épi, c'est au tiers ou au quart supérieur que les fleurs s'ouvrent tout d'abord, en formant une zone régulière, et de cette zone la floraison

s'étend à la fois de bas en haut et de haut en bas, jusqu'aux deux extrémités opposées de l'inflorescence.

J'ajouterai encore que dans le cas où les épillets sont biflores, les deux fleurs s'ouvrent le plus souvent en même temps et les glumelles supérieures de ces deux fleurs sont accolées dos à dos. C'est ce que j'ai observé dans les *Avena sativa L.*, *orientalis Schreb.*, *fatua L.*, *barbata Brot.*, etc.; l'*Arrhenatherum elatius M. et K.*; les *Holcus*, les *Aira*, *Corynephorus*, *Deschampsia*, *Catabrosa*, etc. Lorsque l'épillet est multiflore, les fleurs s'ouvrent aussi ordinairement deux par deux, l'une alternant immédiatement avec l'autre. C'est ce que j'ai vu dans les *Serrafalcus*, les *Bromus* vrais et ceux de la section *Festucaria*, dans le *Boissiera Danthoniæ Alex. Braun*, dans les *Festuca*, les *Vulpia*, les *Briza*, les *Glyceria*, l'*Avena pubescens L.*, etc.

J'ai observé aussi des fleurs qui restent ouvertes jusqu'à la floraison du lendemain, mais dont les stigmates sont restés vierges. J'ai constaté la coïncidence de ces deux faits dans les *Lagurus ovatus L.*; *Deschampsia cæspitosa P. Beauv.* et *flexuosa Gris.*; dans le *Piptatherum paradoxum P. Beauv.*; l'*Avena pubescens L.*, le *Bromus asper L. f.*, le *Holcus lanatus L.* Je signalerai, dans le troisième chapitre de ce travail, des faits du même genre et plus remarquables encore.

Il nous reste, avant de nous occuper des questions de détails relatives aux phénomèmes de la floraison proprement dite, à examiner, d'une manière générale, les trois modes suivant lesquels cette fonction s'opère dans la famille des Graminées.

1° Dans le plus grand nombre des espèces, les fleurs s'ouvrent largement de manière à rendre visibles tous les organes de la fleur. Cette opération se produit, pour

ainsi dire, en deux temps : les glumelles s'écartent d'abord légèrement de manière à montrer seulement le sommet des anthères, puis elles s'étalent assez brusquement de façon à former un angle de 30° à 50°, suivant les genres. Dans les deux fleurs inférieures de l'épillet, les glumes ne font pas obstacle à l'écartement des glumelles, mais suivent leur mouvement et, dans les autres fleurs de l'épillet, l'ouverture de la fleur a lieu par le refoulement des fleurs voisines et surtout des inférieures. On distingue alors parfaitement les anthères, retenues par leur court filet, réunies en faisceau au centre de la fleur et masquant les stigmates dressés. Mais bientôt les filets s'allongent assez rapidement pour que l'œil puisse saisir ce mouvement ; en même temps les stigmates se dégagent, et tantôt ils s'étalent dans l'intérieur de la fleur, ou latéralement au dehors vers le milieu de la hauteur des glumelles, tantôt c'est un peu au-dessus de la base de la fleur qu'ils sortent et se courbent en dehors. Ils sont généralement plumeux, comme les barbes d'une plume, ou bien leurs poils sont disposés en goupillon ; rarement les stigmates sont nus. Le filet en s'allongeant reste d'abord rigide et droit et conserve ainsi l'anthère dans sa direction primitive ; mais il s'amincit de plus en plus, finit par perdre sa raideur et dès lors ne peut plus supporter le poids qu'il soutient, les anthères basculent ordinairement toutes les trois du même côté et pendent au-dessous des stigmates. Le plus souvent elles sont encore entières au moment de la culbute ou, si elles s'ouvrent avant, dans certaines espèces, c'est seulement à leur extrémité supérieure, par deux petites fentes latérales ou bien par deux pores bien circonscrits et à bord étalé en dehors. Que ce soit avant ou après la chûte de l'anthère que les ouvertures primitives se produisent,

elles s'étendent peu à peu à toute la longueur de cet organe. L'observation m'a fait connaître que ce phénomène commence d'autant plus tôt et se complète d'autant plus vite que l'air est plus sec et plus chaud. A raison de la position des deux ouvertures au sommet organique de l'anthère, il s'écoule d'abord par cette voie une petite quantité de pollen, quelle que soit la direction de l'organe qui le contient, mais alors même que l'anthère est normalement pendante ou qu'elle a basculé, le reste de la masse pollinique, si l'atmosphère est calme, ne s'échappe que peu à peu et par petites ondées successives. Si, au contraire, l'air est subitement agité ou si un choc vient secouer l'inflorescence, la sortie du pollen est brusque et, si la floraison est abondante, on voit apparaître un véritable nuage de pollen qui enveloppe la panicule et doit atteindre tous les stigmates mis à nu. J'ai provoqué assez souvent cette sortie brusque du pollen par un petit coup donné au chaume avec le doigt et j'ai observé ce nuage dans les espèces suivantes : *Phalaris minor Retz, Baldingera colorata Fl. der Wett., Phleum pratense L., Alopecurus pratensis L., agrestis L., utriculatus Pers., Lagurus ovatus L., Avena pubescens L., Arrhenatherum elatius M. et K., Holcus lanatus L., Kœleria cristata Pers., Glyceria fluitans R. Br., aquatica Wahlenb.* et *distans Walhenb., Poa pratensis L., Dactylis glomerata L., Festuca pratensis Huds., Elymus arenarius L., Secale cereale L., Triticum vulgare Willd., Brachypodium pinnatum P. Beauv.* Cette poussière fécondante est tellement légère, que le vent peut la transporter assez loin sur d'autres inflorescences. J'ai démontré, du reste, expérimentalement que le pollen du blé peut féconder l'*Ægilops ovata L.* à dix et même à trente mètres de dis-

tance (1). Après l'ouverture complète des loges de l'anthère, les deux petits lobes, jusqu'alors accolés, qui terminent chacune de ses extrémités, divergent et ses membranes desséchées, qui pendent au bout du filet plus ou moins tordu sur lui-même, deviennent le jouet du vent. Lorsque la fécondation est opérée, les stigmates se pelotonnent, et, le plus souvent, rentrent dans la fleur qui se ferme sur eux.

2° Dans d'autres Graminées les choses se passent un peu différemment, surtout relativement à la sortie des anthères et des stigmates. Les fleurs, si on en excepte un ou deux genres, s'ouvrent beaucoup moins, mais suffisamment, toutefois, pour laisser sortir avec facilité, par le sommet de la fleur, soit simultanément les anthères et les stigmates, soit séparément et, dans ce cas, ce sont les stigmates qui sortent les premiers. Ceux-ci sortent dans la direction de l'axe de la fleur et sont d'abord parallèles, puis finissent ordinairement par s'étaler, tantôt au-dessus des glumelles ou même des anthères, tantôt un peu au-dessous du sommet des glumelles, mais jamais vers la base de la fleur. Dans les Graminées qui offrent ce mode de floraison, les stigmates sont très-souvent disposés en goupillon. On comprend que la sortie des anthères et des stigmates par le sommet de la fleur entrouverte modifie le rapport qu'ont entre eux ces deux genres d'organes, relativement à la fécondation. La sortie des anthères par cette voie est rendue possible par l'allongement de leur filet ; celle des stigmates l'est par l'allongement des styles ou par celui de l'ovaire. Le mouvement de bascule des anthères et l'ouverture des

(1) Godron, *Histoire des Ægilops hybrides*, dans les *Mém. de l'Acad. de Stanislas* pour 1869, p. 185 et tirage à part, p. 21.

sacs polliniques s'opèrent comme nous l'avons vu dans le mode précédent de floraison.

3° Enfin, il est un petit nombre de Graminées, chez lesquelles la fleur ne s'ouvre pas. Le genre *Stipa* de Linné nous en offre plusieurs exemples; mais il en est un plus extraordinaire encore que nous montrent les fleurs fertiles du *Leersia oryzoides Soland.* Nous y reviendrons plus loin.

Après avoir exposé les caractères généraux des principaux genres d'inflorescence dans les Graminées et les différents modes de floraison qu'elles présentent, nous avons à examiner en détail les modifications secondaires extrêmement nombreuses, qu'au moment de la floraison, on observe relativement au groupement des épillets, à la direction et à l'ouverture des fleurs, enfin aux rapports de position qui existent entre leurs organes essentiels mâles et femelles au moment de la sortie du pollen. Nous rechercherons quelle influence ces dispositions si variées et si complexes exercent sur le mode de transport de cette poussière fécondante sur les stigmates et par conséquent sur les procédés naturels de fécondation (1). En suivant cette marche il nous sera facile d'établir que, dans la famille des Graminées, la fécondation est le plus souvent croisée de fleur à fleur dans l'espèce ; qu'assez fréquemment encore elle peut être directe sur certaines fleurs et croisée sur d'autres ; que rarement elle est exclusivement directe dans la fleur ouverte et que, plus rarement encore, elle s'opère à huis clos.

(1) Nous nous occuperons, dans cette étude, spécialement des Graminées de la Flore de France, que nous avons pu observer vivantes et de quelques espèces étrangères que nous avons cultivées.

Fécondation croisée. — Elle a lieu lorsque le pollen d'une fleur féconde les stigmates d'une autre fleur, soit d'un même épillet, soit d'un épillet différent de la même inflorescence, soit enfin d'une inflorescence à l'autre. Examinons successivement ces différents cas.

I. Il doit être rare que le pollen d'une fleur puisse féconder, malgré leur rapprochement, les stigmates d'une autre fleur du même épillet. Il n'y a assez souvent qu'une fleur fertile dans chaque épillet, ou bien, s'il y en a plusieurs, il n'y en a quelquefois qu'une seule qui s'ouvre chaque jour et, dans ces deux cas, la fécondation croisée est impossible de fleur à fleur dans un même épillet. Ou bien, ce qui arrive assez fréquemment, il y en a deux au plus qui étalent en même temps leurs glumelles; or celles-ci sont successives sur l'axe de l'épillet et alternes-distiques et, comme elle sont toujours plus ou moins étalées en sens contraire, il s'ensuit que les anthères de chacune, qu'elles soient naturellement pendantes, ou qu'elles aient basculé, versent leur pollen au dessous de leurs propres stigmates et que la supérieure le laisse échapper en dehors de la direction de l'inférieure. Ce n'est qu'accidentellement, si les anthères plus ou moins ouvertes et devenues le jouet du vent, sont déviées de leur direction dans le sens latéral ou soulevées, qu'elles peuvent lancer leur pollen de côté ou en haut et que deux fleurs ouvertes d'un même épillet peuvent être fécondées l'une par l'autre. Mais c'est là un fait accidentel.

II. La fécondation croisée de fleur à fleur appartenant à des épillets différents de la même inflorescence est de beaucoup la plus commune. Nous procéderons à cette étude par la description détaillée d'un certain nombre d'exemples choisis dans des conditions variées, mais déterminant tous ce mode de fécondation ; nous indique-

rons ensuite les autres espèces observées par nous et qui se rapportent à chacun de ces exemples.

1° Nous commencerons cette étude par les espèces dont les stigmates plumeux ne sortent jamais par le sommet de la fleur et s'étalent latéralement au dehors, soit un peu au dessus de la base de la fleur, soit vers le milieu des glumelles.

Nous nous occuperons d'abord de la fécondation de l'*Arrhenatherum elatius Mert. et Koch.* L'inflorescence de cette espèce est une panicule dressée, égale, d'abord contractée, mais dont les branches et les rameaux s'étalent et prennent une position horizontale au fur et à mesure qu'ils se disposent à fleurir. Les épillets sont aussi étalés et même le plus souvent déclives. Les deux fleurs qui les constituent, l'inférieure mâle et la supérieure hermaphrodite, s'ouvrent simultanément ; leurs glumes et leurs glumelles s'écartent d'un angle d'environ 45° et les glumelles supérieures sont accolées dos à dos. Les anthères basculent entières et, devenant complètement pendantes, elles sont placées bien au-dessous des stigmates. De plus, c'est à leur sommet organique, c'est-à-dire par le point qui s'éloigne le plus des organes femelles de leur propre fleur, qu'elles s'ouvrent d'abord par deux pores béants, puis dans toute leur longueur, et versent leur pollen par petites ondées successives. Les stigmates s'étalent et se courbent en dehors vers la base de la fleur et font saillie l'un sur une des faces de l'épillet, l'autre sur la face opposée. Ils sont facilement atteints par le pollen abondant qui s'échappe des fleurs mâles et des fleurs hermaphrodites, étagées les unes au-dessus des autres et les dominant par leur position. Les stigmates imprégnés ne tardent pas à rentrer et à se pelotonner dans la fleur qui se ferme sur eux. J'ajouterai que dans

toutes les panicules, il existe ordinairement à leur sommet un petit nombre de fleurs qui s'ouvrent seulement un ou deux jours après celles des rameaux qui les avoisinent; elles sont ordinairement mâles, plus rarement hermaphrodites et restent habituellement stériles. On voit donc que toutes les dispositions sont prises pour assurer la fécondation croisée entre fleurs appartenant à des épillets distincts d'une même inflorescence. C'est là ce qui se passe normalement quand l'atmosphère est parfaitement calme ; mais, si l'air est agité, on comprend que cette circonstance est plus favorable encore à la fécondation croisée. Cette observation s'applique, du reste, à toutes les panicules et surtout à celles qui s'étalent largement et nous ne la répéterons pas pour chacune des espèces que nous avons observées.

Il est un assez grand nombre de Graminées, dont les épillets sont disposés en panicule et qui offrent des conditions semblables ou analogues à celles de l'*Arrhenatherum elatius,* au point de vue du mode de fécondation. Telles sont les suivantes : *Calamagrostis epigeios Roth* et *arundinacea Roth ; Agrostis alba L., verticillata Vill., vulgaris With., canina L.* et *virginica L. ; Sporobolus pungens Kunth* (à panicule contractée) ; *Lasiagrostis Calamagrostis Link ; Piptatherum paradoxum P. Beauv.* et *multiflorum P. Beauv.; Milium effusum L.; Deschampsia cæspitosa P. Beauv.* et *flexuosa Gris.; Avena sativa L., strigosa Schreb., barbata Brot., fatua L.* et *Ludoviciana Dur. ; Trisetum flavescens P. Beauv.* et *neglectum Rœm. et Sch.; Holcus lanatus L.* et *mollis L.; Catabrosa aquatica P. Beauv.*

D'autres espèces, qui ont aussi leur panicule égale et étalée, ne diffèrent des précédentes que par leurs épillets munis de fleurs un peu plus nombreuses et par leurs stig-

mates, qui s'étalent aussi latéralement au dehors, mais vers le milieu de la hauteur des glumelles, par exemple : *Kœleria cristata Pers.* et *valesiaca Gaud.; Glyceria aquatica Wahl.* et *distans Wahl.; Poa nemoralis L., serotina Ehrh., bulbosa L., pratensis L., trivialis L.* et *sudetica Hœnk.; Festuca sylvatica Vill., arundinacea Schreb.* et *pratensis Huds.; Bromus (Festucaria) asper L., canadensis Mich., inermis Leyss.* et *erectus Huds.* (ces derniers ont leur panicule dressée).

Il est une modification de la panicule, à branches solitaires à chaque nœud et très-étalées, qui dirigent sur une même face leurs épillets agglomérés vers l'extrémité des rameaux. On pourrait la nommer *panicule dimidiée*, car elle simule une moitié de panicule. Comme exemple de ce type, nous allons décrire l'inflorescence du *Dactylis glomerata L.* Les épillets sont inclinés vers le bas dans les glomérules des branches inférieures et médianes, presque horizontaux au dessous du sommet et étalés-dressés dans les glomérules supérieurs ; leurs faces regardent l'une en haut, l'autre en bas, ou bien elles sont obliques ou même placées de champ par la torsion de leur pédoncule. Les fleurs s'ouvrent largement. Les anthères sortent longuement de la fleur, restent assez longtemps fermées en conservant leur direction première sur leur filet encore raide, puis enfin basculent (du moins celles qui ne sont pas déjà pendantes) et s'ouvrent du sommet à la base, alors qu'elles sont déclives par rapport aux stigmates de leur propre fleur. Ceux-ci longs et grêles s'étalent au dehors. Les glomérules de fleurs étant superposés et comme imbriqués, le pollen abondant de cette espèce coule de haut en bas de glomérule en glomérule et d'épillet en épillet et rencontre les stigmates, longuement sortis de la fleur. La fécondation croisée est donc

presque nécessairement le résultat de ces dispositions.

Parmi les Graminées étudiées par nous, qui ont aussi une panicule dimidiée et présentent les mêmes rapports de direction et de position entre les anthères et les stigmates, sont les suivantes: *Glyceria procumbens Sm.* et *fluitans R. Brown; Sclerochloa dura P. Beauv.; Poa annua L.* et *compressa L.; Scleropoa maritima Parl., divaricata Parl.* et *rigida Gris.; Melica major Sibth. et Sm.* et *Bauhini All.; Festuca ovina L., duriuscula L., rubra L., heterophylla Lam.* et *pratensis Huds.; Cynosurus echinatus L.*

Il y a des espèces de cette division, dont la panicule a ses épillets, et par conséquent ses fleurs, dressés ou étalés-dressés. Tels sont les *Ventenata avenacea Kœl.; Avena pubescens L., pratensis L., montana Vill.* et *Scheuchzeri All.* Les fleurs, au nombre de 3 à 5 dans chaque épillet, s'ouvrent deux à deux assez largement. Les anthères, portées sur des filets assez longs s'ouvrent après avoir basculé et répandent leur pollen au dessous des stigmates de leur propre fleur. Ceux-ci s'étalent au dehors vers la base des glumelles. Les dispositions sont à peu près les mêmes dans le *Molinia cœrulea Mœnch,* dont les épillets forment une grande panicule étalée-dressée, et dans les *Danthonia decumbens D. C.* et *provincialis D. C.* dont la panicule étroite est presque simple. Les stigmates s'étalent au-dehors vers le milieu de la fleur, ce qui en éloigne plus encore les anthères de la même fleur déjà pendantes lorsqu'elles commencent à s'ouvrir.

D'autres Graminées ont leurs épillets en panicule spiciforme et n'en présentent pas moins le même mode de fécondation que les précédentes espèces. Je puis citer les *Kœleria phleoides Pers.* et *villosa Pers.; Melica Magnolii*

Godr. et *ciliata L.* L'inflorescence est égale, serrée et les épillets sont étalés presque horizontalement. Les anthères, en sortant de la fleur, suivent la même direction, puis basculent avant de s'ouvrir. Les stigmates s'étalent au dehors vers le milieu de la hauteur des glumelles; mais, au lieu d'être étalés l'un en haut, l'autre en bas, ils sont courbés et tous deux un peu ascendants, ce qui leur permet de recevoir plus facilement le pollen des fleurs qui les dominent. Le *Psamma arenaria Rœm. et Sch.* a ses épillets étalés-dressés et munis d'une seule fleur fertile. Celle-ci s'ouvre largement. Les anthères opèrent leur culbute avant de s'ouvrir et les stigmates sont étalés au dehors vers la base de la fleur. Le *Cynosurus cristatus L.* a son inflorescence étroite, linéaire, dense et unilatérale. Les épillets sont étalés horizontalement. Les anthères très-saillantes ne s'ouvrent aussi qu'après avoir basculé. Les stigmates étalés vers le milieu de la fleur sont dirigés l'un en bas, l'autre en haut. Les *Melica nebrodensis Parl.* et *altissima L.* ont, comme l'espèce précédente, la panicule spiciforme unilatérale et les épillets étalés au moment de l'anthèse. Les anthères basculent entières et les stigmates s'étalent vers le milieu de la fleur. Il y a donc encore, dans ces différents cas, fécondation croisée.

Il y a aussi des espèces, qui ont le même mode de fécondation, et dont les épillets, disposés trois à trois sur chaque nœud, sont dressés ou étalés-dressés et disposés en épi, comme dans les *Elymus europeus L.*, *arenarius L.* et *giganteus Vahl.* La fleur est assez ouverte. Les anthères saillantes au-dessus de la fleur basculent avant de s'ouvrir, puis répandent leur pollen sur les stigmates des fleurs placées plus bas. Ces stigmates sont très-saillants au dehors vers le tiers inférieur de la longueur des glumelles. Dans les espèces suivantes, dont les épillets sont

uniques sur chaque nœud de l'axe de l'épi, les phénomènes de la fécondation s'opèrent comme dans les *Elymus*. Tels sont les *Agropyrum repens P. Beauv., campestre Godr., caninum Rœm. et Sch., scirpeum Presl.* et *rigidum Schrad.; Brachypodium pinnatum Rœm. et Sch.* et *sylvaticum Rœm. et Sch.; Lolium perenne L., italicum Braun, linicolum Sond.* et *temulentum L.*

Ce sont là les exemples de fécondation croisée de fleur à fleur dans des épillets différents que nous avons observés dans les Graminées, dont les stigmates plumeux ne sortent pas au sommet de la fleur, mais s'étalent latéralement vers la base ou vers le milieu de la longueur des glumelles.

2° Dans beaucoup de Graminées les stigmates sortent par le sommet de la fleur, ce qui n'empêche pas, chez un certain nombre d'entre elles, la fécondation croisée de fleur à fleur dans deux épillets différents. Celles-ci nous occuperont seules dans ce paragraphe.

Ces stigmates sortent tantôt plus ou moins longtemps avant les anthères, tantôt en même temps que les organes mâles. Ils sont, en outre, les uns plumeux, les autres en goupillon. Cette dernière différence nous a paru bien moins importante que la première au point de vue du mode de fécondation.

Parmi celles de ces plantes qui ont leurs stigmates plumeux et leurs épillets disposés en panicule égale, très-rameuse, diffuse, à épillets rapprochés vers le sommet du rameau et inclinés en bas, nous n'avons pu en étudier qu'une seule à l'état de vie : c'est le *Baldingera colorata Fl. der Wett.* Les anthères sortent en même temps que les stigmates de la fleur assez ouverte ; mais les stigmates s'étalent bientôt un peu au-dessous de la pointe des glumelles et sont très-saillants au-dehors. Les anthères

suspendues à leur filet allongé, s'ouvrent bien au-dessous des stigmates de la même fleur et la fécondation est par cela même croisée.

Plusieurs genres qui offrent les mêmes dispositions relatives à la floraison, ont leurs épillets en panicule spiciforme, dense et égale. Les *Phalaris canariensis L.*, *minor Retz*, *brachystachys Link* sont dans ce cas. Leurs épillets uniflores sont étalés-dressés. Leurs fleurs s'ouvrent suffisamment pour laisser passer de front leurs étamines et leurs stigmates plumeux. Ceux-ci s'étalent, un peu après leur sortie, au sommet de la fleur ; mais, au lieu de s'écarter dans le plan perpendiculaire aux faces de l'épillet, comme cela a lieu dans la plupart des Graminées, les stigmates se courbent tous les deux vers la face supérieure ; ils sont ascendants et semblent ainsi venir au-devant du pollen qui tombe des fleurs placées plus haut. Les anthères sortent longuement et s'écartent par là des stigmates de leur propre fleur ; elles s'ouvrent au sommet et basculent de façon à répandre leur pollen sur les stigmates des fleurs placées plus bas. Dans les *Phleum pratense L.*, *Bœhmeri Wib.*, *alpinum L.* et *Michelii All.*, les épillets empilés les uns au-dessus des autres sont étalés presque horizontalement et se comportent de même, si ce n'est que les anthères basculent avant de s'ouvrir. Dans les *Alopecurus pratensis L.*, *agrestis L.*, *geniculatus L.* et *utriculatus Pers.*, les conditions de fécondation croisée sont aussi favorables ; mais les stigmates sortent avant les anthères, sont étalés horizontalement et les anthères portées sur de longs filets basculent aussi entières. Le *Lagurus ovatus L.* offre des faits analogues, mais la fleur s'ouvre davantage et les stigmates un peu étalés sont moins saillants que dans les genres précédents.

Le *Nardus stricta L.* a ses épillets solitaires et uniflores, disposés en épi grêle. Les fleurs sont dressées. Le stigmate unique sort par le sommet de la fleur avant les anthères ; celles-ci, d'abord dressées, ne s'ouvrent qu'après avoir basculé et versent leur pollen sur les fleurs insérées plus bas sur l'axe de l'épi.

D'autres genres, appartenant à la même division de notre travail, ont leurs stigmates disposés en goupillon. Tels sont les *Sorghum* et les *Andropogon*. Dans le *Sorghum halepense Pers.*, les épillets géminés ou ternés sont disposés en une grande panicule égale et diffuse et ils sont inclinés vers le bas. Les fleurs s'ouvrent de manière à laisser passer à la fois par leur sommet les anthères et les stigmates. Ceux-ci s'étalent presque immédiatement après leur sortie en dehors de la fleur et vers le tiers supérieur de la hauteur des glumelles. Les anthères ne versent leur pollen qu'au moment où, très-saillantes en dehors, elles sont très-écartées des stigmates de leur propre fleur. Les *Andropogon Ischæmum L.* et *provinciale Lam.* ont leurs épillets géminés et uniflores, disposés en épis simples fasciculés, étalés-dressés. Les stigmates émergent les premiers par le sommet de la fleur et s'étalent bientôt au dehors vers le milieu de la hauteur des glumelles. Les anthères sortent ensuite, basculent entières et, suspendues à un long filet, elles fécondent les fleurs insérées au-dessous.

Fécondation pouvant être directe ou croisée. — Les dispositions de l'inflorescence et les rapports de position entre les anthères et les stigmates qui, tout en assurant la fécondation directe, peuvent aussi donner lieu à la fécondation croisée, se rencontrent, lorsque les anthères, au moment de la sortie du pollen, s'élèvent au dessus des stigmates étalés, ou bien sont en contact direct avec

ces organes femelles et qu'il existe, en même temps, au-dessous d'autres fleurs dont les stigmates mis à nu sont exposés à être imprégnés par la chûte naturelle du pollen versé par les premières. Cela doit être rare toutefois pour les fleurs dont la fécondation a lieu par contact des deux organes générateurs, à moins qu'elle ne soit inefficace et alors la fécondation croisée peut y suppléer, ou bien le pollen provenant de deux sources, peut se répandre à la fois sur les mêmes stigmates. Mais, lorsque les stigmates sortent du sommet de la fleur avant les anthères, et quelquefois même dès la veille, la fécondation croisée doit être prépondérante. Nous allons signaler les exemples à nous connus, dans lesquels ces différentes coïncidences se rencontrent pour faciliter l'un ou l'autre mode de fécondation ou concourir à assurer l'un et l'autre.

Parmi ces plantes, quelques unes ouvrent largement leurs fleurs ; leurs stigmates grêles et plumeux sont, ainsi que leurs anthères, étalés dans la cavité de la fleur, se rapprochent et se touchent au moment de la sortie du pollen et produisent par ce mécanisme la fécondation directe *par contact*. Mais cela n'empêche pas, surtout si les fleurs sont dressées ou étalées-dressées, qu'une partie du pollen de ces fleurs fécondées très-ouvertes, n'atteigne les stigmates de fleurs placées plus bas et dont les anthères ne sont pas encore ouvertes. C'est ce que j'ai pu constater sur des *Aira Tenorii Guss.* et *caryophyllea L.* cultivés en pot et apportés la veille sur la croisée de mon cabinet, en ayant soin, pour ne pas troubler l'opération, de ne provoquer aucun ébranlement des panicules à branches et à rameaux capillaires, étalés-dressés au moment de l'anthèse. Mais, si on secoue l'inflorescence, comme cela doit avoir lieu quand l'air est agité, même légère-

ment, la fécondation croisée doit être plus fréquente encore.

Dans les *Polypogon monspeliense Desf.* et *maritimum Willd.*, les épillets uniflores, étalés-dressés sont réunis en panicule spiciforme assez dense. Les glumelles sont assez écartées pour qu'on puisse voir les stigmates étalés ainsi que les anthères à l'orifice de la fleur et constater la fécondation directe par contact. Mais rien n'empêche qu'une partie du pollen s'échappe de la fleur encore ouverte, pour se répandre dans les fleurs épanouies, qui sont placées plus bas. Il en est de même dans les *Crypsis schœnoides Lam.* et *alopecuroides Schrad.* Le *Schismus marginatus P. Beauv.* a des épillets nombreux, multiflores, inclinés vers le bas et pour ainsi dire imbriqués, formant une panicule spiciforme unilatérale. Les stigmates grêles et plumeux sortent en même temps que les anthères par le sommet entrebaillé de la fleur et la fécondation a lieu par contact, mais il est bien difficile, à raison du rapprochement et de la direction des épillets, qu'une partie du pollen n'atteigne pas les stigmates des fleurs ouvertes des épillets voisins et surtout des épillets placés plus bas.

Dans d'autres genres de Graminées, dont il va être question, ce sont les stigmates qui sortent les premiers par le sommet de la fleur très-ouverte. C'est ce qui a lieu, entre autres, dans les *Anthoxanthum odoratum L.* et *Puellii Lecoq et Lamotte.* Les épillets, ne renfermant qu'une seule fleur fertile, sont réunis en une panicule spiciforme. Les stigmates plumeux et assez longs se montrent au dehors d'abord rapprochés, puis étalés. Les anthères les dépassent bientôt sur leur filet allongé, s'ouvrent, s'inclinent un peu et versent une partie de leur pollen sur les stigmates de leur propre fleur, puis bas-

culent et répandent le reste sur les stigmates des fleurs insérées plus bas, et les fécondent d'autant plus facilement que les stigmates sortent les premiers. On peut, en suivant le mouvement de culbute des anthères, apercevoir l'ondée de pollen qui s'en échappe. Les phénomènes sont analogues dans les *Sesleria cœrulea Ard.* et *argentea Savi.* Dans le *Pennisetum longistylum Hochst.*, l'inflorescence est aussi en grappe spiciforme serrée. Les épillets biflores sont étalés horizontalement. Les stigmates plumeux sortent du sommet de la fleur entrouverte, un jour ou même deux jours avant la sortie des anthères. Celles-ci suivent la même voie, s'ouvrent au sommet par deux pores sur la partie inférieure et médiane des stigmates de la même fleur, puis en basculant imprègnent les stigmates des fleurs placées au-dessous. Le *Cinna mexicana P. Beauv.* présente des faits du même genre.

Les stigmates sont en goupillon dans plusieurs genres, que nous avons étudiés et qui tous appartiennent à la tribu des *Panicées*. Tels sont d'abord les *Panicum capillare L.*, *virgatum L.* et *miliaceum L.* Les épillets, formés de deux fleurs fertiles, l'une mâle, l'autre hermaphrodite, sont disposés en une grande panicule et étalés-dressés au moment de l'anthèse. Les fleurs sont bien ouvertes et les stigmates sortent les premiers au sommet de la fleur. Les anthères de la même fleur apparaissent au dehors, presque immédiatement après, et celles de la fleur mâle, le lendemain seulement. Celles de la fleur hermaphrodite s'étalent et, en s'ouvrant, elles rencontrent les stigmates de leur propre fleur; mais une partie de leur pollen et la totalité de celui de la fleur mâle voisine, peuvent aussi atteindre les stigmates des fleurs placées au-dessous. Dans l'*Echinochloa Crus-galli P.*

Beauv. dont les épillets sont disposés en panicule dimidiée, dans les *Digitaria sanguinalis Scop., ciliaris Kœl.*. et *glabra R. et Sch.*, dans le *Cynodon Dactylon Pers.*, dont les épillets forment des épis linéaires et fasciculés, la fécondation directe s'opère aussi par contact et la fécondation croisée des fleurs placées plus bas par la chûte naturelle d'une partie du pollen.

Il est encore d'autres dispositions que les précédentes et qui peuvent, néanmoins, permettre aussi un double mode de fécondation. Nous en trouvons des exemples dans les *Secale* et les *Hordeum* sauvages, et pour le moment nous négligerons les espèces de ces deux genres cultivées de temps immémorial. Il en sera parlé dans notre chapitre relatif aux céréales.

Les *Secale montanum Guss.* et *anatolicum Boiss.* ont leurs épillets biflores dressés-étalés, réunis étroitement en un épi allongé, comprimé, un peu penché au moment de la floraison. Les fleurs se préparent à s'ouvrir dès la veille au soir; elles montrent déjà au sommet de leurs glumelles un peu entrouvertes la partie supérieure des anthères. Le lendemain matin, la fleur s'ouvre en formant un angle d'environ 15° et l'on voit alors complétement les anthères qui sortent très-rapidement par l'allonment de leur filet et s'étalent un peu au-dessus de la fleur. Les stigmates masqués jusque-là sont alors visibles; ils sont allongés, plumeux, s'étalent dans la fleur et même un peu en dehors. Les anthères, placées ainsi au dessus des stigmates, s'ouvrent un peu à leur sommet et peuvent verser une petite partie de leur pollen qui atteint ordinairement un des stigmates et quelquefois les deux, ce que j'ai constaté plusieurs fois dans les fleurs ouvertes fleurissant les premières; mais si la sortie des anthères se fait vivement et si elles basculent rapidement, les

stigmates peuvent rester vierges. Les anthères une fois basculées, s'ouvrent dans toute leur longueur et répandent leur pollen au dehors par petites ondées successives et sensibles à l'œil, si l'atmosphère est parfaitement calme ; ce pollen tombe directement dans les fleurs ouvertes placées deux ou trois rangs plus bas. Il est aussi une remarque assez importante à faire, c'est que, dans ces espèces, la fleur reste ordinairement entrouverte jusqu'à la floraison du lendemain, ce qui laisse les barbes plus étalées que celles des fleurs fermées et donne à l'épi un air mal peigné ; c'est un troisième procédé par lequel le pollen des épillets du tiers supérieur de la fleur peut atteindre les stigmates des fleurs ouvertes depuis la veille et situées dans les deux tiers inférieurs de l'épi. Car il ne faut pas non plus oublier que les épis, comme les grappes spiciformes, commencent à fleurir vers les deux tiers de leur hauteur et qu'à partir de cette zône elle continuent à la fois de haut en bas et de bas en haut, et que, par conséquent le pollen tombe à la fois de deux zones fleuries différentes. Cette observation est également applicable à beaucoup de plantes, dont nous avons décrit le mode de floraison. Dans les *Secale* la fécondation peut donc être directe, mais aussi croisée.

Les *Hordeum murinum L.*, *secalinum Schreb.*, *maritimum With.* et *bulbosum L.* ont aussi leurs épillets en épi dense et déprimé ; ils sont uniflores et réunis trois par trois sur chaque dent du rachis ; mais les épillets latéraux sont ordinairement mâles (1) dans ces espèces. Les fleurs

(1) J'ai observé, sur quelques pieds de *Hordeum murinum L.*, que les épillets latéraux renfermaient une fleur neutre ; mais le plus souvent ils possèdent une fleur mâle dans cette espèce.

dressées s'ouvrent passablement. Les anthères s'étalent dans la fleur, s'ouvrent par deux pores à bords saillants, versent une portion de leur pollen dans la cavité de la fleur ; puis elles basculent au dehors et se vident, pouvant ainsi féconder les fleurs ouvertes placées plus bas si elles ne l'ont pas été directement, mais elles ne sont pas longuement pendantes et sont retenues ordinairement et bridées par l'entrecroisement des deux glumelles qui ne laissent d'ouvertures latérales que vers leur tiers supérieur. On en retrouve souvent une, deux et même trois au sommet de l'ovaire développé. D'une autre part, les anthères des fleurs mâles, lorsqu'elles s'ouvrent en temps opportun, peuvent aussi fournir utilement de la poussière fécondante. Nous trouvons donc encore dans les espèces sauvages de ce genre un exemple de fécondation directe et de fécondation croisée.

Fécondation directe. — Il existe un certain nombre de Graminées, chez lesquelles la direction de la fleur et les rapports de position des anthères, relativement aux stigmates d'une même fleur, sont tels que la fécondation directe est la seule normalement possible. Je l'ai constaté dans celles dont il va être question.

L'*Apera Spica-venti P. Beauv.* a ses épillets uniflores disposés en une grande panicule très-étalée au moment de l'anthèse. Ses fleurs sont pendantes et assez ouvertes. Les stigmates grèles et plumeux sont un peu étalés dans la cavité de la fleur. Les anthères, au moment de l'ouverture de leurs loges, sont accolées aux stigmates et les fécondent par contact.

Les *Serrafalcus mollis Parl.*, *commutatus Godr.*, *secalinus Godr.* et *macrostachys Parl.* ont des épillets pluriflores et formant une panicule étalée-dressée pendant l'anthèse. Les fleurs s'ouvrent deux à deux dans chaque

épillet et montrent leurs stigmates étalés dans leur cavité. Les anthères, dressées au-dessus des stigmates, versent sur eux directement leur poussière fécondante. Ces anthères restent très-souvent incluses dans la fleur, lorsqu'elle se ferme, et on les retrouve coëffant le sommet de l'ovaire qui a pris tout son développement. Les choses se passent exactement de même dans le *Boissiera Danthoniæ Alex. Braun.*

Dans les *Serrafalcus arvensis Godr.* et *patulus Parl.* les épillets sont pendants et, bien qu'ils affectent une direction inverse à celle des épillets des autres espèces de ce genre, la fécondation directe s'y opère également par contact dans la fleur renversée et mise à l'abri plus sûrement encore du pollen des fleurs supérieures.

Les *Vulpia pseudomyuros Soy.-Will.*, *sciuroides Gmel.* et *bromoides Rchb.* ont une panicule allongée, étroite, presque unilatérale. Les épillets multiflores sont étalés-dressés. La fleur s'ouvre assez pour laisser voir les organes qu'elle renferme. Les stigmates courts et plumeux sont étalés dans la cavité de la fleur et l'anthère unique ou les trois anthères ont leur filet court et s'ouvrent au contact des stigmates. On retrouve ces anthères flétries au sommet du caryops développé.

Le *Bromus tectorum L.* a ses épillets disposés en panicule unilatérale et ils sont pendants. Les fleurs s'ouvrent deux à deux suffisamment pour distinguer les organes intérieurs. Les stigmates sont étalés dans la fleur. Les anthères, portées sur de courts filets, fécondent aussi par contact les stigmates. Dans le *Bromus sterilis L.*, la panicule est étalée de tous côtés et les épillets sont aussi pendants et tout se passe comme dans le *Bromus tectorum L.* Dans le *Bromus maximus Desf.*, la panicule est très-étalée et les épillets ont des directions diverses. Dans le

Bromus madritensis L. et *rubens L.*, l'inflorescence est condensée et les épillets dressés. La fécondation malgré ces différences est la même que dans le *Bromus tectorum L.* Les anthères restent presque toutes dans la fleur après la fécondation.

Les *Eragrostis megastachya Link, poœoides P. Beauv.* et *pilosa P. Beauv.* ont leurs épillets multiflores disposés en panicule étalée. Les fleurs s'ouvrent deux à deux, et largement. Les stigmates s'étalent dans la cavité de la fleur et les anthères les fécondent également par contact.

Dans les *Briza maxima L., media L.* et *minor L.,* les épillets multiflores sont disposés en panicule plus ou moins rameuse et sont penchés ou même pendants. Les fleurs s'ouvrent aussi deux à deux et l'ouverture assez large permet, en retournant l'épillet, de voir distinctement les stigmates grêles, allongés, un peu écartés l'un de l'autre et appliqués contre la surface interne et concave de la glumelle inférieure, qui les protége, comme un bouclier, contre la chûte d'un pollen étranger à sa fleur. Mais les anthères, portées sur de courts filets se chargent de la féconder directement par contact.

La fécondation directe diminuerait-elle, dans ces plantes, la fertilité si bien assurée, cependant, dans le plus grand nombre des Graminées chez lesquelles la fécondation croisée est le fait général ? Il nous semble utile d'étudier cette question. Les observations des anciens botanistes semblent, du reste, nous y inviter.

On se demande, en effet, pourquoi John Ray (1) appelle notre *Bromus tectorum* : *Festuca avenacea sterilis* ; C. Bauhin (2) nomme la même plante : *Fes-*

(1) *Raji Synopsis methodica stirpium britannicarum etc.* éd. 3, 1724, in-8°, p. 413.

(2) *C. Bauhini Pinax* 10 et *Theatri botanici lib.* 1, p. 148.

tuca avenacea sterilis humilior et notre *Bromus sterilis* (1) : *Festuca avenacea sterilis elatior ?* — pourquoi Barrelier a désigné notre *Bromus madritensis* (2) : *Bromus sterilis, erecta panicula, major ?* — pourquoi Rudbeck signale notre *Serrafalcus (Bromus) arvensis* par cette phrase (3) : *Festuca avenacea sterilis elatior ?* — pourquoi Petiver indique notre *Vulpia (Festuca) uniglumis* par ces mots (4) : *Festuca avenacea sterilis humillima, spica unam partem spectante ?*

D'une autre part, Gmelin (5) constate, à son tour, à propos du *Bromus sterilis L.*, le fait suivant : *Semina rarius ad maturitatem perveniunt*. Cela est peut-être exagéré ; nous avons, toutefois, trouvé assez souvent, dans cette espèce et dans la plupart de celles dont il vient d'être question, un certain nombre de fleurs stériles. Il nous paraît vraisemblable qu'on doit attribuer ce résultat à la fécondation directe.

III. La fécondation croisée entre deux fleurs appartenant à deux inflorescences différentes, n'a lieu normalement, si l'atmosphère est parfaitement calme, que dans les Graminées à inflorescence monoïque. Dans le *Zea Mays L.*, par exemple, l'inflorescence mâle étant terminale et émettant du pollen en abondance, cette poussière fécondante tombe naturellement sur les stigmates des inflorescences femelles toutes axillaires.

(1) *C. Bauhini Pinax* 9.

(2) Barrelier, *Plantæ per Galliam, Hispaniam, etc.*, 1714, in-f°, ic. 76.

(3) Rudbeck, *Campi Elisii lib.* 1, p. 87.

(4) *Petiveri Graminum, Muscorum, Fungorum, etc. concordia*, Londini, 1716, in-f°, p. 101.

(5) Gmelin, *Flora badensis alsatica*, Carlsruhæ 1861, T. 1, p. 235.

Le *Coix Lacryma L.* nous offre aussi un exemple remarquable de ce mode de fécondation croisée. Cette Graminée est très-rameuse. Sa tige produit des branches axillaires, feuillées, alternes-distiques, qui se divisent à leur tour pour donner naissance à un grand nombre de petites inflorescences, qui toutes sortent aussi de la gaîne d'une feuille. Chacune d'elles constitue un épi plus ou moins longuement pédonculé ; au sommet du pédoncule, on voit un involucre charnu (1) qui primitivement renferme toute l'inflorescence et s'ouvre au sommet par une ouverture oblique. Sa cavité renferme au moment de la floraison : 1° un épillet formé d'une fleur femelle munie de ses glumes et de ses glumelles membraneuses, d'une seconde fleur représentée par une simple écaille (considérée par Kunth comme une glumelle) ; 2° deux pédicelles courts et grêles et portant des épillets avortés et qui n'en sortent jamais ; 3° la base d'un pédoncule qui sort par l'ouverture de l'involucre et porte des épillets mâles sessiles et imbriqués sur six rangs. La fleur femelle incluse offre ordinairement à sa base trois étamines rudimentaires et infertiles et de son sommet s'élèvent deux, plus rarement trois stigmates plumeux qui sortent par l'ouverture de l'involucre. Les épillets mâles, sessiles sur leur axe, sont d'abord rudimentaires et

(1) Il arrive quelquefois que la partie la plus élevée du bord de l'ouverture oblique de l'involucre se prolonge en un véritable limbe de feuille. J'en ai vu un long de 0m 120 et large de 0m 018, mais ordinairement ce limbe est bien plus court, plus étroit et semblable à une écaille verte. Kunth (*Agrostographia* 1835, in-8°, tab. 3, fig. *b.*) donne le dessin d'un de ces appendices qui est de taille médiocre. Il est évident, selon nous, que ces faits accidentels indiquent la nature de l'organe désigné sous le nom d'involucre : c'est une gaîne de feuille modifiée.

accolés à l'épillet femelle dans la cavité de l'involucre et commencent à sortir, lorsque la fleur femelle, déjà à peu près complètement développée, montre ses stigmates et les étale au dehors. Mais bientôt l'axe de l'épi s'allonge au-dessus de la fleur femelle et permet au groupe des fleurs mâles de s'échapper entièrement de la cavité où il était emprisonné ; les fleurs mâles achèvent leur développement et la partie de l'épi qui les porte bascule; elles deviennent pendantes et se trouvent placées bien au dessous de la fleur femelle dont les stigmates sont déjà flétris, lorsqu'elles s'ouvrent et versent leur pollen au dehors. Les fleurs mâles de l'épi fleurissent donc beaucoup trop tard, pour qu'elles puissent féconder la fleur femelle du même épi. Mais les inflorescences étant très-nombreuses, inclinées toutes du même côté et se développant successivement de haut en bas au sommet de la tige et de ses branches, la fécondation croisée d'inflorescence à inflorescence est, non seulement assurée ; elle est, en outre, la seule possible.

En étudiant les différents modes de fécondation d'épillet à épillet dans une même inflorescence, nous avons supposé que l'atmosphère était calme pendant la floraison et que le pollen suivait dans sa chûte la direction verticale, dont il ne déviait qu'autant que la disposition de certaines inflorescences le forçait à tomber de cascade en cascade et lui permettait d'atteindre souvent plus facilement les stigmates des fleurs ouvertes. Mais, si à l'heure de la floraison l'air est agité, le vent transporte plus ou moins loin cette poussière si légère et il doit arriver, qu'un certain nombre de fleurs d'une inflorescence échappent à la fécondation par le pollen de ses propres fleurs, en reçoivent des inflorescences des pieds de même espèce

qui existent dans le voisinage. Comme les Graminées qui peuplent nos prairies, nos bois, les lieux incultes, sont toutes des plantes sociales, la dissémination du pollen par le vent n'en doit pas moins être très-efficace dans de pareilles circonstances.

Mais il est quelques Graminées dioïques, chez lesquelles la fécondation, au moyen du pollen transporté par le vent, d'une inflorescence mâle sur une inflorescence femelle, n'est plus un simple accident, mais une nécessité. Telles sont les différentes espèces de *Gynerium* et notamment le *G. argenteum Nees*, qu'on cultive dans nos jardins paysagers et dont les immenses panicules mâles et le nombre immense de fleurs qu'elles renferment, abandonnent aux agitations de l'atmosphère une quantité très-considérable de pollen. Toutes ces espèces sont, du reste, vivaces et leur floraison dure assez longtemps, à en juger, du moins, par l'espèce que nous cultivons, et si, dans ces conditions, la fécondation manquait une année de s'accomplir, la propagation de l'espèce pourrait éprouver un retard, mais ne se trouverait pas compromise.

Fécondation à huis-clos. — La fécondation dans la fleur entièrement close est un fait extrêmement rare dans les Graminées, et non pas un fait général, comme l'affirme M. Bidart (1), sur les opinions duquel nous reviendrons dans notre second chapitre. Nous n'avons observé ce mode de fécondation que dans deux genres naturels et fort éloignés l'un de l'autre par leur organisation.

Nous nous occuperons d'abord de plusieurs espèces du genre *Stipa*, que nous avons pu étudier vivantes, et

(1) Bidart, dans les *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, t. 68 (1869), p. 1486.

qui nous ont présenté des dispositions organiques telles que la fécondation a nécessairement lieu dans la fleur complétement close. Ces espèces sont les *Stipa gigantea Guss., juncea L.* et *pennata L.* ; nous ne doutons pas que plusieurs autres espèces de ce genre n'offrent le même phénomène. Mais il n'en est pas ainsi toutefois de toutes les espèces de l'ancien genre *Stipa* de Linné. Déjà Bertoloni en a séparé le *Stipa aristella L.*, type unique qui lui a servi à créer le genre *Aristella* (1). Mais il nous semble que les caractères qu'il lui assigne n'ont pas seuls une valeur générique suffisante. Il différencie, en effet, ce genre nouveau du genre *Stipa,* d'abord par sa fleur sessile entre les glumes qui l'enveloppent immédiatement et par sa base calleuse, oblique et obtuse ; ensuite par son arête droite. Dans les *Stipa*, au contraire, suivant Bertoloni, la base calleuse de la fleur est turbinée, oblique, aigüe et il la considère comme un vrai pédicelle qui écarte la fleur de ses glumes ; de plus l'arête est genouillée et tordue au-dessous du genou. Mais le premier de ces caractères se retrouve dans un vrai *Stipa*, que j'ai décrit, vingt ans après la création du genre *Aristella*, sous le nom de *Stipa tenella* (2). Celui-ci a la callosité oblique de la base plus courte encore et son arête est droite et non tordue. Je ferai d'abord observer que, dans les différentes espèces de *Stipa*, le pédicelle turbiné n'a pas la même longueur et nous avons ici une différence du plus au moins. D'une autre part, l'arête genouillée et tordue ne peut avoir plus de valeur générique dans les *Stipa*, qu'elle n'en a dans les *Avena*. On n'a pas séparé de ce genre l'*Avena orientalis Schreb.* parce que son arête est

(1) *Bertolonii Flora italica, Bononiæ*, in-8°, t. 1 (1833), p. 690.

(2) Godron, *Florula juvenalis, etc. ed. 1, Monspelii,* 1853, in-4°, p. 44 et éd. 2, Nancy, in-8°, 1854, p. 110.

droite ; ni le *Trisetum neglectum R. et Sch.* de ses congénères pour le même motif. Mais il existe d'autres caractères à nos yeux plus importants, qui doivent faire conserver le genre *Aristella* qui, à l'avenir, comprendra, non seulement le *Stipa aristella L.*, mais aussi les *Stipa brachychœta Godr.* et *parviflora Desf.* Parmi ces caractères distincts, il en est un que nous avons déjà indiqué dans notre Flore de France (1). Nous avons dit du genre *Aristella* : *glumelle inférieure coriace enroulée, mais laissant en dehors la glumelle supérieure* ; et du genre *Stipa* : *glumelle inférieure coriace, enroulée et renfermant étroitement la supérieure.* Nous ajouterons que la glumelle supérieure des *Aristella* est membraneuse et de moitié plus courte que la supérieure et que celle des *Stipa* est coriace et presque aussi longue que la supérieure (moins l'arête).

Il résulte de ces dispositions, que dans les vrais *Stipa*, les stigmates et les anthères restent emprisonnés dans la fleur et que la fécondation s'y fait nécessairement à huis clos. Nous avons ouvert par incision les glumelles des trois espèces de ce genre, que nous avons pu étudier vivantes, et nous avons vu les stigmates grêles, finement plumeux, non courbés, mais droits et un peu étalés-dressés dans la cavité de la fleur et nous avons constaté que les anthères étroites et linéaires, portées par de courts filets, sont en contact avec les stigmates et versent directement sur eux leur pollen. Nous avons pu observer ce fait, même sur des fleurs encore engagées dans la gaîne foliaire. Enfin, toutes les fleurs que nous avons ouvertes, sur le vif, alors que le caryops était déjà développé, nous ont montré les anthères flétries et déformées coëffant le sommet de cet organe.

(1) Grenier et Godr., *Flore de France*, t. 3 (1856), p. 495.

Dans les *Aristella*, au contraire, la fleur s'ouvre, mais non par l'écartement simultané des deux glumelles ; l'inférieure conserve sa direction première, à raison de sa consistance coriace et aussi parce qu'elle est fixée sur sa base indurée. Mais la glumelle supérieure membraneuse s'écarte seule et ouvre largement la fleur. Je n'ai pu observer ce fait sur la plante fraîche ; mais, sur des échantillons desséchés avec soin, j'ai distingué trés-nettement sur beaucoup de fleurs l'écartement de la glumelle supérieure et les trois étamines à filets encore très-courts et à anthères dressées, accolées l'une à l'autre et masquant les stigmates. Deux figures que nous a données Kunth (1) et qui paraissent exactes, représentent les stigmates du *Stipa aristella L.* (*Aristella bromoides Bert.*) sortant de la fleur, fortement courbés en bas et très-plumeux sur la convexité de la courbure. L'une de ces figures montre une anthère linéaire et allongée, dressée, dépassant de beaucoup les stigmates et insérée sous le pistil. Si, ce que je n'ai pu constater, les anthères s'ouvrent dans cette position, elles doivent féconder directement les stigmates, et si elles basculent entières, la fécondation doit être croisée. Toutefois, en l'absence d'observations sur le vif, l'analogie me fait considérer comme propable la seconde supposition. Car c'est là ce qui arrive presque toujours dans les Graminées, dont les stigmates sont réfléchis en dehors de la fleur et un peu au-dessus de sa base.

Les *Stipa brachychœta Godr.* et *parviflora Desf.* nous ont montré aussi, sur des échantillons desséchés, leur fleur très-ouverte par l'écartement de la glumelle supérieure membraneuse, et les trois étamines dressées et

(1) Kunth, *Agrostographia*, t. 2, tab. XII, fig. 3 a et 3 b.

accolées. Ces deux espèces doivent donc changer de nom et prendre ceux d'*Aristella brachychæta* et *d'Aristella parviflora*.

Je dois rappeler ici qu'il est une autre plante dont la fécondation s'opère à huis clos, mais dans des conditions bien différentes et tout-à-fait inattendues. Il s'agit du *Leersia orizoides Soland.* M. Duval-Jouve (1) a démontré que les panicules exsertes, qu'on rencontre assez rarement dans cette espèce, ont des fleurs qui s'ouvrent, des stigmates bien conformés, des anthères qui semblent normales et renferment un pollen abondant et que cependant ces fleurs sont infertiles. Mais il existe, à tous les nœuds émergés du chaume, des panicules incluses dans la gaîne de la feuille, dont les fleurs parfaitement closes, ne s'ouvrent pas et dont la cavité est remplie d'un liquide transparent et un peu visqueux. On y trouve un ovaire couronné par de courts stigmates, des anthères très-petites, s'ouvrant de très-bonne heure, et laissant échapper des grains de pollen en petit nombre et mal conformés. Leur membrane est si mince qu'elle se déchire au moindre contact et laisse échapper la fovilla. Les fleurs de ces panicules incluses sont très-fertiles et leurs caryops murissent rapidement. J'ajouterai que ce mode de fécondation n'est pas sans analogie, mais à raison seulement de l'intervention d'un liquide, avec la fécondation des œufs des Batraciens et de la plupart des Poissons.

Tels sont les différents modes de floraison et de fécondation que nous avons observés dans les Graminées.

Si nous comparons ces deux caractères physiologiques,

(1) Duval-Jouve, dans Billot, *Annotations à la flore de France et d'Allemagne*, 1857, p. 112, et dans le *Bulletin de la Société botanique de France*, T. 10 (1863) p. 194.

constants dans les Graminées sauvages, aux caractères morphologiques qui, jusqu'à ces dernières années, ont amené le dédoublement rationnel de plusieurs genres Linnéens, nous verrons qu'ils concordent entre eux et viennent justifier l'établissement de ces genres nouveaux. Nous citerons particulièrement comme exemples de cette coïncidence, la séparation des *Setaria*, des *Digitaria* et des *Echinochloa* du genre *Panicum ;* celle des *Stipa* et des *Aristella ;* des *Deschampsia* et des *Aira* ; la formation des genres *Schismus* et *Vulpia* aux dépens des *Festuca ;* la distinction des *Eragrostis* et des vrais *Poa ;* celle du genre *Serrafalcus*, que M. Parlatore (1) a isolé des *Bromus*, dont il faudrait peut-être aussi séparer comme genre nouveau, la section *Festucaria* de notre Flore de France. Il ne faut pas, du reste, s'étonner de ces résultats, puisque les caractères physiologiques dépendent des dispositions organiques.

Il est encore un autre fait physiologique qui, non seulement vient également justifier la légitimité de beaucoup de genres de nouvelle création, mais qui s'applique à tous les genres réellement naturels : C'est que toutes les espèces de chacun de ces genres fleurissent sensiblement à la même époque de la journée, si les conditions météorologiques, qui agissent sur la fonction de floraison, leur sont également favorables. L'analogie d'organisation dans les espèces d'un même genre naturel explique aussi sans doute cette tendance à fleurir à la même heure. Mais ici une explication est nécessaire.

Les espèces d'un même genre ne fleurissent pas toutes

(1) Parlatore, *Plantæ novæ vel minus notæ, Parisiis*, 1842, in-8°, p. 75.

dans la même semaine ou dans le même mois et la floraison d'une même espèce peut se prolonger pendant plusieurs mois. C'est ainsi, d'une part, que le *Sesleria cœrulea Ard.* fleurit chez nous à la fin de mars et en avril et le *Sesleria argentea Savi*, cultivé au jardin des plantes de Nancy, y ouvre ses fleurs au mois de juillet, c'est-à-dire un mois plus tard que dans les Alpes de la Provence. Mais c'est là un fait exceptionnel. Ordinairement les espèces d'un même genre naturel fleurissent les unes après les autres dans l'intervalle d'un à deux mois. D'une autre part, il est quelques espèces qui fleurissent longtemps. Par exemple le *Poa annua L.* qu'on voit en fleurs depuis avril jusqu'en octobre; le *Bromus sterilis L.* de mai à septembre; l'*Alopecurus geniculatus L.* de mai en août; les *Digitaria glabra R. et Sch.* et *sanguinalis Scop.*, l'*Echinochloa crus-galli P. Beauv.*, le *Phalaris minor Retz* de juillet en octobre. Toutes ces plantes sont annuelles et une partie d'entre elles se ressèment dans le cours de l'été, les autres poussent de leur pied successivement de nouvelles tiges ou de nouveaux rameaux, qui prolongent la durée de la floraison.

Or le lever du soleil n'a pas lieu à la même heure d'un mois à l'autre et encore moins pendant la durée de plusieurs mois et le soleil est plus ou moins élevé au-dessus de l'horizon. Il nous était par conséquent impossible de donner pour ces espèces un chiffre absolu pour l'heure de la floraison, et nous n'avons pu indiquer qu'une heure moyenne dont les extrêmes ne s'écartent que d'une quantité très-limitée, si, comme l'observation nous l'a démontré, on l'établit sur la température *minimum* indispensable pour produire, dans les espèces de chaque genre, une floraison abondante, c'est-à-dire normale.

Nous avons donc dû étudier l'action des agents météorologiques et nous avons reconnu que la température de l'air ambiant exerce une influence prépondérante sur la fonction de floraison ; que le degré d'humidité et de sécheresse, la pluie ou une abondante rosée déposées sur les Graminées à l'état de floraison, avaient aussi une certaine action ; qu'enfin l'état du ciel pur, voilé ou nuageux, mérite aussi d'être pris en considération. Nous avons donc dû nous munir d'un thermomètre, d'un hygromètre à cheveux et noter aussi, dans nos observations de chaque jour, l'état de l'atmosphère.

Relativement à la température, nous n'avons pas procédé comme les météorologistes ; il ne s'agissait pas, dans la question qui nous occupe, de connaître le degré marqué par le thermomètre exposé au nord, mais la température agissant directement sur la plante mise en observation. Nous avons dû transporter successivement près de chaque plante, au moment de la floraison, un thermomètre très-sensible fixé à un piquet de bois et dont la boule était placée à la hauteur de l'inflorescence, et, après nous être éloigné de cet appareil, pendant le temps nécessaire pour permettre au niveau du mercure de se fixer, nous venions ensuite constater le degré de température auquel la plante était soumise.

Pendant trois années consécutives, nous avons continué ces observations régulières, dans le but d'arriver à établir l'heure approximative à laquelle les espèces d'un même genre donnent une floraison abondante, en rapport avec la température *minimum* nécessaire pour produire ce résultat. Pour simplifier ce problème assez complexe et rendre les faits observés comparables, nous écarterons, pour le moment, les observations faites par un temps pluvieux et nous nous occuperons d'abord, au double

point de vue que nous venons d'indiquer, des faits constatés par un ciel clair ou voilé. Nous avons résumé cette série d'observations dans le tableau suivant :

Floraison des genres et des espèces par un temps clair ou voilé, mais non pluvieux.	Heure moyenne d'une floraison abondante.	Température minimum observée pour une floraison abondante.
Catabrosa aquatica *P. B.*...........	4 h. du matin	10° centig.
Kœleria cristata *Pers.*, valesiaca *Gaud.* et phlœoides *Pers*.......	4 1/2 id.	12°
Poa annua *L.*, bulbosa *L.*, pratensis *L.*, trivialis *L.*, nemoralis *L.*, sudetica *Hœnck*...............	4 1/2 id.	11°
Arrhenatherum elatius *M. et K.*....	5 id.	13° 1/2
Glyceria fluitans *R. B.*, aquatica *Wahl.* et distans *Wahl*........	5 id.	15°
Boissiera Danthoniæ *A. Braun*.....	5 id.	15°
Hordeum murinum *L.*, maritimum *With.*, secalinum *Schreb.*, bulbosum *L*.....................	5 1/2 id.	16°
Serrafalcus mollis *Parl.*, commutatus *Godr.*, macrostachys *Parl.*, secalinus *Godr.*, patulus *Parl.*, et arvensis *Godr*..............	6 id.	12°
Festuca duriuscula *L.*, rubra *L.*, heterophylla *Lam.*, sylvatica *Vill.*, arundinacea *Schreb.*, pratensis *Huds.* et gigantea *Vill*.........	6 id.	14°
Brachypodium pinnatum *P. B.* et sylvaticum *P. B*..............	6 id.	15°
Aira caryophyllea *L.* et Tenorii *Guss.*	6 id.	15°
Briza media *L.* et maxima *L*........	6 id.	15°
Digitaria glabra *R. et Sch.*, sanguinalis *Scop*.....................	6 id.	16°
Schismus marginatus *P. B*.........	6 id.	16°
Baldingera colorata *Fl. der Wett*....	6 id.	17°
Phalaris minor *Retz*, canariensis *L*..	6 id.	18°
Secale montanum *Guss.* et anatolicum *Boiss*..................	6 id.	14°

Floraison des genres et des espèces par un temps clair ou voilé, mais non pluvieux.	Heure moyenne d'une floraison abondante.		Température minimum observée pour une floraison abondante.
Andropogon Ischæmum *L.* et provinciale *Lam.*	6 1/2	matin	19°
Dactylis glomerata *L.*	6 1/2	id.	16°
Holcus lanatus *L.* et mollis *L.* (1re floraison)	6 1/2	id.	16°
Apera Spica-venti *P. B.*	6 1/2	id.	22°
Lasiagrostis Calamagrostis *Link.*	6 1/2	id.	22°
Trisetum flavescens *P. B.* et neglectum *R. et Sch.*	7	id.	15°
Alopecurus pratensis *L.*, geniculatus *L.*, agrestis *L.* et utriculatus *Pers.*	7	id.	18°
Phleum pratense *L.*, Bœhmeri *Wibel*, Michelii *All.*	7	id.	18°
Anthoxanthum odoratum *L.* et Puellii *Lec.*	7	id.	20°
Lagurus ovatus *L.*	7 1/2	id.	21°
Panicum capillare *L.*, miliaceum *L.*, virgatum *L.*	8	id.	20°
Sorghum halepense *Pers.*	9	id.	21°
Setaria verticillata *P. B.*, glauca *P. B.*, viridis *P. B.* et italica *P. B.*	10	id.	18°
Gynerium argenteum *Nees*	11	id.	24°
Agrostis vulgaris *With.*, canina *L.*, verticillata *Vill.*, virginica *L.*, elegans *Thore*	11	id.	20°
Crypsis alopecuroides *Schrad.* et schœnoides *Lam.*		midi	21°
Melica ciliata *L.*, nebrodensis *Parl.*, altissima *L.*, Magnolii *Godr.*, major *Sibth.*, Bauhini *All.*, nutans *L.* et uniflora *Retz*		id.	20°
Cynosurus cristatus *L.*		id.	18°
Molinia cœrulea *Mœnch*		id.	»
Calamagrostis epigeios *Roth* et arundinacea *Roth*		id.	19°

Floraison des genres et des espèces par un temps clair ou voilé, mais non pluvieux.	Heure moyenne d'une floraison abondante.	Température minimum observée pour une floraison abondante.
Nardus stricta *L.* (Hohneck)........	midi	»»
Sesleria cœrulea *Ard.* et argentea *Sav*.........................	id.	19°
Piptatherum paradoxum *P. B.* et multiflorum *P. B*..............	id.	21°
Vulpia pseudomyuros *S. Will.*, sciuroides *Gmel.* et bromoides *Rchb.*	id.	24°
Lolium perenne *L.*, italicum *Braun*, linicolum *Sond.*, temulentum *L.*	id.	18°
Elymus europæus *L.*, arenarius *L.* et giganteus *Vahl*................	id.	24°
Polypogon monspeliensis *Desf.* et maritimum *Willd*............	1 **aprés midi**	25°
Scleropoa maritima *Parl.*, divaricata *Parl.* et rigida *Gris*............	1 id.	21°
Bromus tectorum *L.*, sterilis *L.*, maximus *Desf.*, madritensis *L.* et rubens *L*....................	1 1/2 id.	20°
Bromus (Festucaria) asper *L.*, canadensis *Mich.*, inermis *Leyss.* et erectus *Huds*.................	2 id.	23°
Avena sativa *L.*, strigosa *Schreb.*, barbata *Brot.*, fatua *L.* et ludoviciana *Dr.*	3 id.	20°
Agropyrum repens *P. B.*, campestre *Godr.*, caninum *R. et Sch.*, scirpeum *Presl.* et rigidum *Schrad.*.	4 1/2 id.	23°
Avena (Avenastrum) pubescens *L.*, pratensis *L.*, montana *Vill.* et Scheuchzeri *All*........... ...	5 id.	20°
Deschampsia cæspitosa *P. B.* et flexuosa *P. B*....................	6 id.	20°
Holcus lanatus *L.* et mollis *L.* (seconde floraison)............	7 id.	17°

On voit que ce tableau présente, pour la seule famille des Graminées, ce qu'on a appelé *l'horloge de Flore*; elle pourrait être plus complète, s'il nous avait été possible d'observer un plus grand nombre de genres.

Ce tableau nous indique, en outre, le degré de température *minimum* nécessaire pour que chaque espèce produise une floraison abondante. Mais qu'arrive-t-il, lorsque la chaleur n'atteint pas ce degré *minimum*, les autres conditions étant néanmoins favorables? Si la température s'en approche, quelques fleurs s'ouvrent les unes après les autres, plus lentement, il est vrai, mais *complètement*; les étamines mettent plus de temps à allonger leurs filets pour pousser au dehors les anthères. Si, au contraire, la température est d'abord insuffisante, la floraison est retardée quelquefois pendant une, deux ou trois heures, jusqu'à ce que la chaleur, augmentant peu à peu, atteigne enfin le degré voulu pour une floraison normale. C'est ce que nous avons observé surtout pour les floraisons matinales. Ou bien la chaleur reste stationnaire ou n'augmente pas suffisamment et alors la floraison est remise au lendemain. Mais en pareilles circonstances, la floraison peut être plus ou moins abondante, mais jamais elle ne se fait imparfaitement chez les Graminées sauvages, c'est-à-dire sans que les fleurs ne s'ouvrent largement, ni sans que les anthères ne sortent normalement de la fleur. Nous verrons, plus loin, qu'il n'en est pas toujours ainsi de quelques-unes de nos céréales.

Il est deux espèces que nous avons vues fleurir deux fois le même jour, à 6 heures 1/2 du matin et à 7 heures du soir, mais dans des conditions de température analogues. Ce sont les *Holcus lanatus L.* et *mollis L.*

Les observations précédentes n'ont pas été faites par

un temps pluvieux. Mais, s'il en est autrement, si l'eau vient mouiller la plante qui se prépare à fleurir, la floraison est suspendue, quelquefois même pendant un ou deux jours. S'il survient une éclaircie, quelque temps avant l'heure de l'anthèse, la plante se ressuye et doit un peu se refroidir par l'effet de l'évaporation ; si le soleil vient lui rendre une température suffisante, la floraison peut être un peu retardée, mais ne s'accomplit pas moins normalement. Une rosée abondante produit les mêmes résultats, surtout chez les Graminées de petite taille, et le brouillard, s'il ne se prolonge pas, a aussi un effet suspensif. C'est principalement sur les Graminées, qui prolongent leur floraison jusque vers l'automne, que j'ai constaté cette action de l'humidité et spécialement sur le *Digitaria glabra R. et Sch.* qui est très-répandu dans mon jardin, où il se propage spontanément et y fleurit jusqu'à la fin d'octobre.

Un ciel voilé, loin de nuire à la floraison, semble au contraire très-favorable, si la chaleur atteint ou dépasse le *minimun* nécessaire et, d'après mes observations hygrométriques, il en est de même d'une légère humidité de l'air. Une autre remarque, que j'ai faite sur les diverses variétés de blé, que je cultive chaque année pour produire des *Ægilops triticoides Req.*, c'est que la sécheresse prolongée de l'air, si elle s'accompagne de l'aridité du sol et d'une chaleur au-dessus de la moyenne, m'a paru rendre plus lent l'épanouissement de la fleur et déterminer plus rapidement l'ouverture des anthères, alors qu'elle ne sont pas encore complètement sorties de la fleur. La sécheresse déterminerait-elle la rigidité des glumelles et gênerait-elle par là leur écartement ? La dessiccation plus rapide des parois des loges de l'anthère et la rétraction qui en doit résulter, hâterait-

elle la rupture des sacs polliniques aux points d'élection ? Cela m'a paru probable.

Il est donc établi, par toutes les observations précédentes, que, dans la famille des Graminées, les espèces d'un même genre naturel fleurissent sensiblement à la même époque de la journée, en tenant compte toutefois des retards déterminés par les écarts de la température ou par l'eau déposée sur les plantes. Ce résultat serait complétement faux, si on l'appliquait à la plupart des anciens genres Linnéens, mais il est parfaitement vrai pour les démembrements qui en ont été faits par les botanistes qui, ayant eu égard à des caractères morphologiques plus importants, ont établi des genres vraiment naturels.

Quelle est l'action de la lumière sur la floraison des Graminées ? Avant de répondre à cette question, nous ferons observer que, parmi les plantes phanérogames, il n'en est qu'un petit nombre qui fleurissent pendant la nuit, telles que le *Cereus grandiflorus Mill.*, que nous avons vu en fleurs, au Jardin de Montpellier, à 11 heures du soir, par une nuit obscure et dont nous avons pu apprécier l'odeur pénétrante et suave ; on cite également comme ouvrant leurs fleurs dans les mêmes conditions exceptionnelles les *Cereus nycticalus Link, Hookeri Pfeiff.* et *Phyllanthus D. C.*, les *Silene noctiflora L.*, et *nocturna L.*; ce dernier continue sa floraison le matin. Il est enfin quelques espèces qui, s'ouvrant avant le lever du soleil ou après son coucher, ont reçu les épithèthes de *matutinus* et de *vespertinus*. C'est là un fait rare et dont je ne connais aucun exemple dans les Graminées et de ce fait seul on peut déduire avec vraisemblance que la lumière ne doit pas être inutile à la floraison des plantes de cette famille. Mais est-il nécessaire qu'un

rayon de soleil vienne frapper la fleur du blé parfaitement close, comme l'affirme M. Bidart, chimiste à Rouen, (1) pour provoquer l'élongation des filets des étamines et permettre aux anthères de forcer mécaniquement le passage entre les glumelles accolées? Les Graminées sauvages, comme nous l'avons vu, et le blé lui-même, comme nous l'établirons plus loin, fleurissent bien, et même abondamment, par un ciel voilé, pourvu que la température atteigne le degré nécessaire. Les Graminées placées à l'ombre fleurissent très-bien aussi, mais sont quelquefois en retard sur les pieds de même espèce qui reçoivent, directement, non seulement les rayons lumineux, mais aussi les rayons calorifiques du soleil.

Des échantillons de Graminées à floraison matinale, coupés la veille et mis le pied dans l'eau d'un vase, ont été placés sur la cheminée de ma chambre à coucher, ne recevant ni l'air frais du matin, ni le soleil, mais seulement la lumière diffuse pénétrant par une croisée fermée, y ont fleuri parfaitement et même un peu plus tôt que les mêmes espèces vivant en plein air dans mon jardin. Mais le thermomètre m'a appris que la température, à laquelle elles étaient soumises dans ma chambre, était de 4° plus élevée qu'au dehors.

Le 26 mai 1872, étant allé observer, au milieu de la journée, la floraison des Graminées, dans les prairies des bords de la Meurthe, j'en recueillis plusieurs espèces, dont la floraison matinale était terminée, et à mon retour, fatigué de la course, je les laissai dans la petite boite de fer blanc, où elles avaient été déposées pendant l'herborisation. Le lendemain, à huit heures du matin, la température était de 20° dans mon cabinet, où la boîte était

(1) Bidart, *Journal d'agriculture pratique*, n° du 4 mars 1866.

déposée. Ayant ouvert ce réceptacle, je fus surpris d'y voir des pieds de *Poa bulbosa L.* et *pratensis L.*, montrant des fleurs nombreuses encore ouvertes et une certaine quantité de pollen répandu autour de leur panicule. Mais, il faut observer que la température *minimum* à laquelle ces plantes fleurissent n'est que de 11°. Des pieds de *Dactylis glomerata L.*, d'*Alopecurus pratensis L.* et d'*Anthoxanthum odoratum L.*, renfermés dans la même boîte, avaient aussi beaucoup de fleurs ouvertes, mais leurs anthères, complétement exsertes et maintenues encore sur leur filet érigé, n'étaient pas encore ouvertes, bien que la température à laquelle ces espèces étaient exposées, fût bien suffisante pour avoir déterminé, depuis plus d'une heure, l'ouverture des sacs polliniféres, si ces plantes avaient été exposées à l'air libre. La boîte ayant été refermée et ouverte une demi-heure après, beaucoup d'anthères commençaient à répandre leur pollen. Si l'absence de toute lumière n'a pas empêché la floraison de deux de ces plantes, elle l'a retardée dans les trois autres malgré l'excès de température.

De nouveaux échantillons de ces mêmes espèces furent recueillis le lendemain, mis le pied dans un vase d'eau et placés dans un cabinet complétement obscur et j'ai pu, le matin suivant, observer les mêmes résultats. Puis, au fur et à mesure que de nouvelles Graminées commençaient à fleurir, je les ai soumises à la même expérience. Les espèces ainsi soustraites à la lumière sont les suivantes :

Lolium perenne L. : était le 30 mai, en pleine floraison, à 1 heure 1/2 du soir, par 22° de température.

Serrafalcus mollis Parl. : était le 1er juin, bien fleuri, à 7 heures du matin, par 19°.

Secale cereale L. : le 1er juin, il a fleuri, mais peu abondamment, à 7 heures du matin, par 19°.

Bromus (Festucaria) erectus Huds. : le 5 juin, il ouvre ses fleurs peu abondantes, à 2 heures du soir, par 25°, mais les anthères sont encore entières.

Arrhenatherum elatius M. et K. : a fleuri abondamment et normalement le 7 juin, à 5 heures du matin, par une chaleur de 22°, supérieure de 8° à la température *minimum*.

Blé de Noë et blé d'Agde barbu : le 12 juin, à 5 heures du matin, par 22°, on surprend les fleurs ouvertes en assez grand nombre et leurs anthères sorties, dressées ou basculées. Mais la température est bien au-dessus de la moyenne nécessaire à une belle floraison.

Baldingera colorata Fl. der Wett. : a donné, le 15 juin, à 7 heures du matin, par 19°, une floraison assez abondante.

Trisetum flavescens P. B. : a présenté, le 19 juin, à 6 heures 1/2 du matin, une floraison normale, par 20°.

Briza media L. : il a bien fleuri, le 20 juin, à 6 heures 1/2 du matin, par 21°.

Brachypodium pinnatum P. B. : il a convenablement fleuri le même jour et à la même heure que le précédent et par la même température.

Avena sativa L. : a fleuri le 23 juin, à 3 heures 3/4 du soir, par 22° ; mais les fleurs ouvertes étaient peu nombreuses et les glumelles un peu moins étalées que de coutume.

Agropyrum repens P. B. : le 24 juin, à 5 heures du soir, par 25°, il fleurit peu abondamment.

Si nous comparons les faits que nous venons d'exposer, aux indications de l'heure moyenne et du degré minimum de température consignée dans le tableau que nous avons présenté plus haut, il en résultera ces conclusions : c'est que la floraison des Graminées, ayant lieu daus l'obscu-

rité, a presque toujours été retardée, même avec une température en excès, qu'elle a été souvent peu abondante et quelquefois imparfaite.

Nous ferons toutefois deux observations sur ces expériences : la première c'est que dès la veille, au moment de la séquestration dans un lieu obscur, la floraison du lendemain était déjà préparée et si l'absence de lumière n'a pas arrêté la floraison, elle l'a du moins notablement modifiée ; la seconde observation c'est que la suppression complète des Graminées à l'action de la lumière est un fait contre nature, qui ne pourrait se prolonger au-delà de vingt-quatre heures, sans modifier profondément les fonctions de ces végétaux et sans devenir la cause déterminante d'un état pathologique. Nous n'avons pas à nous en occuper davantage.

Conclusions générales. — De tous les faits établis dans ce premier chapitre de notre travail, on peut tirer les conclusions suivantes :

1° Les différents genres d'inflorescence des Graminées n'ont qu'une influence secondaire, relativement aux conditions qui assurent le transport du pollen sur les stigmates. Ces conditions dépendent à la fois de la combinaison d'éléments variés, tels que la direction et le mode d'ouverture des fleurs, la sortie, la direction et les rapports réciproques des stigmates et des anthères au moment de la sortie du pollen au-dehors.

2° Les croisements de fleur à fleur dans l'espèce constituent chez les plantes de cette famille, le fait le plus fréquent et c'est alors que la fécondité atteint son degré le plus élevé ;

3° La fécondation directe, se compliquant de fécondation croisée, donne aussi des résultats assez complets sous ce rapport ;

4° La fécondation exclusivement directe laisse assez souvent un certain nombre de fleurs stériles ;

5° L'époque de la journée où fleurissent les Graminées, est la même pour toutes les espèces d'un même genre naturel ;

6° L'agent physique qui a le plus d'influence sur la floraison est, sans contredit, la chaleur et pour les espèces d'un même genre, il existe un degré thermométrique *minimum* nécessaire pour déterminer une floraison abondante et complète ; mais cette fonction peut-être retardée par une température au-dessous de ce *minimum* ou même suspendue pendant un ou deux jours, si l'insuffisance de chaleur a cette durée ;

7° La pluie ou la rosée déposées sur la plante retardent aussi la floraison et, si le premier de ces météores est continu, elle est suspendue aussi longtemps qu'il persiste ;

8° La lumière plus ou moins vive, ou plus ou moins affaiblie par un ciel voilé, a aussi sur la floraison une influence appréciable ;

9° La floraison peut être retardée ou même suspendue par l'effet des causes naturelles que nous avons signalées ; mais, dans les Graminées sauvages, le mode de floraison et de fécondation naturel à chaque espèce, et l'on peut même dire à chaque genre, n'en est pas pour cela modifié.

CHAPITRE II.

DE LA FLORAISON DE NOS CÉRÉALES.

Les observations que nous avons consignées dans le premier chapitre de ce travail et les conclusions que

nous en avons déduites, relativement au mécanisme de la floraison dans les Graminées sauvages, nous permettront d'apprécier si les choses se passent d'une manière semblable dans nos Céréales, malgré leur origine étrangère à notre climat et l'influence de la culture qu'elles ont subie depuis un temps immémorial. Nous commencerons cette étude par la céréale la plus importante.

I. — LE FROMENT.

Triticum sativum L. — Le premier auteur qui, à ma connaissance, se soit occupé de la floraison du blé est l'abbé Poncelet (1). Dans la cinquième planche de son ouvrage, il a représenté la fleur de cette céréale ouverte et tous les organes, qui concourent à la fécondation, s'y montrent à découvert; mais il ne dit pas si l'imprégnation des stigmates se fait avant ou après l'ouverture de la fleur.

Depuis, John Le Couteur (2) admet, mais sans chercher à le démontrer, l'hybridité entre les diverses espèces ou races de froment, ce qui suppose que les fleurs s'ouvrent avant la fécondation et que le pollen est répandu au dehors.

Loiseleur-Deslongchamps s'exprime ainsi (3): « Ayant » cherché, dit-il, pendant différentes heures du jour, à

(1) Polyc. Poncelet, *Histoire naturelle du Froment, des maladies du blé*, etc., Paris, 1779, in-8°, 10 tab.

(2) Le Couteur, *Mémoire sur les Froments*, traduit de l'anglais dans le *Journal des travaux de l'Académie de l'industrie française*, t. 8, p. 37 et suivantes.

(3) Loiseleur-Deslongchamps, *Considérations sur les céréales et principalement sur les froments*, Paris, in-8°, 1re partie (1842) p. 79.

» voir quel était l'état de la fleur au moment où s'opé-
» rait la fécondation, et dans quel instant de la journée
» elle avait lieu, je n'ai jamais pu voir qu'une seule fois,
» et sur quatre heures de l'après-midi, quelques balles
» des fleurs de froment assez ouvertes sur un petit nom-
» bre d'épis pour y distinguer à la fois toutes les parties
» des deux sexes. Cette observation m'a fait soupçonner
» que, dans ce genre, les noces devaient le plus souvent
» se célébrer à huis clos. »

Et plus loin (1) : « Ce n'est que lorsque la fécondation
» est déjà accomplie, que les balles s'écartent tant soit
» peu par leur partie supérieure pour donner issue aux
» anthères...... Ce qu'il y a de certain, c'est que, ayant
» ouvert de vive force plusieurs fleurs dont les étamines
» n'avaient point encore fait saillie au dehors du sommet
» des balles, j'ai trouvé les anthères ouvertes et déjà
» vides au quart ou à la moitié de leur pollen et j'ai vu
» très-distinctement celui-ci épanché sur les stigmates
» multifides, dans lesquels les deux styles sont divisés et
» forment deux espèces de petits plumets divergents ». Il ajoute toutefois que la floraison étant avancée, lorsqu'il a fait ses observations, elles ont besoin d'être répétées et vérifiées.

M. Guerrapain (2) admet aussi que la fécondation s'accomplit dans la fleur parfaitement close, avant que les anthères se montrent au dehors. Selon l'auteur : « Leur
» extrémité supérieure vient à la manière d'un coin faire
» effort contre les balles au point de convergence de leurs

(1) Loiseleur-Deslongchamps, *Ibidem*, p. 80.

(2) Guerrapain, *De la fécondation naturelle des blés en présence de la fécondation artificielle*, dans les *Mémoires de la société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube*, t. 29 (1865), p. 116 et 117.

» sommets... Elles finissent par les écarter juste ce qu'il » faut pour leur permettre de se frayer un passage et de » basculer au dehors, en même temps que les balles se » rapprochent pour fermer l'ouverture. »

Il m'est bien difficile d'admettre, avec M. Guerrapain, que les filets des étamines, s'étant allongés et par conséquent amincis, aient conservé assez de rigidité pour s'ouvrir mécaniquement un passage au dehors. Je crains que l'auteur, dominé par le désir bien légitime de combattre le procédé de fécondation artificielle proposé par M. Hooïbrenck, ne se soit exagéré les faits, ce qui n'était en aucune façon nécessaire pour montrer l'inanité absolue de cette pratique irrationnelle.

A son tour, M. Bidart, chimiste à Rouen (1), assure que, dans les Graminées, la fécondation est instantanée et se manifeste de la manière suivante : « Les anthères » s'ouvrent latéralement ; elles s'animent d'un mouve» ment de torsion ; elles laissent tomber une pluie de » pollen sur le stigmate étalé en éventail. A ce moment » même les filets s'allongent rapidement et, à l'aide de cet » allongement et de leur mouvement de torsion, les éta» mines écartent les valves, se font un passage et viennent » pendre au dehors de la fleur ; elles sont alors presque » vides. »

M. Bidart s'est inspiré, comme M. Guerrapain, des idées de Loiseleur-Deslongchamps, et ces trois auteurs admettent que l'hybridation naturelle est impossible entre espèces ou races de blé, à raison de la fermeture exacte de la cavité de la fleur au moment de la fécondation. M. Bidart étend même cette conclusion à toutes les Graminées ; elle

(1) Bidart, dans les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, T. 68 (1869), p. 1486.

est, par conséquent, la négation indirecte de la production spontanée de l'*Ægilops triticoides* par la fécondation naturelle des *Ægilops ovata* et *triaristata* par le pollen du blé. Or, la nature hybride de l'*Ægilops triticoides* est aujourd'hui en dehors de toute contestation, non seulement par les allures de cette plante curieuse, par les caractères qu'elle emprunte à la race ou espèce de blé près de laquelle elle se développe, mais surtout par les expériences directes que j'ai faites sur la fécondation artificielle ou spontanée des *Ægilops* par les *Triticum* (1).

Il est toutefois parfaitement vrai que l'hybridité est un phénomène extrêmement rare dans les Graminées, et il est facile d'en reconnaître les causes. Mais, d'après mes observations, elles ne sont pas celles qu'exposent les auteurs que je viens de citer. L'*Ægilops triticoides* et son quarteron l'*Ægilops speltæformis* constituent jusqu'ici le seul exemple connu de ce fait physiologique dans la famille des Graminées.

Avant les travaux de MM. Guerrapain et Bidart, Lecoq (2) avait consideré l'hybridité, non seulement comme possible dans les Graminées, mais il affirme que « souvent elle s'est opérée naturellement et sans le secours de l'homme ». Il admet même qu'elle a été l'une des causes productrices des nombreuses variétés de froment qu'on cultive aujourd'hui.

D'une autre part, MM. Guerrapain et Bidart n'ont pas eu connaissance du travail le plus important qui ait paru jusqu'ici sur cette question et qui était déjà publié depuis

(1) Les expériences nombreuses, dont il est ici question, ont été résumées dans mon *Histoire des Ægilops hybrides*, dans les *Mémoires de l'Académie de Stanislas*, pour 1869, p. 167 à 222.

(2) Lecoq, *De la fécondation naturelle et artificielle des végétaux et de l'hybridation*, Paris, 1845, in-12, p. 269 à 272.

seize ans, au moment où ils ont mis au jour leurs recherches. Je veux parler du *Mémoire sur la fécondation des céréales envisagée dans ses rapports avec l'agriculture*, par Ch. Morren (1). Pour être sûr de rendre exactement sa pensée, je transcris textuellement les passages suivants de son travail : « Les étamines allongent leurs filets ; les » anthères viennent alors se placer au-dessus des sti- » gmates et cela toujours dans l'intérieur des paillettes. » Les deux stigmates s'écartent dans l'espace laissé libre » entre la paillette externe et la face externe des deux » bords de la paillette interne ; mais remarquons que la » paillette externe recouvre la paillette interne jusque » bien au-dessus de l'angle de ses bords, d'où il suit que » tout ce mécanisme se passe en dedans des floscules et » sans que l'œil à l'extérieur puisse en saisir la moindre » circonstance. C'est à peine si le sommet des stigmates » peut aboutir, alors que ces organes éprouvent leur écar- » tement en dedans du bord de la paillette externe. Or, au » moment où les deux branches plumeuses stigmatiques » offrent ainsi cet écartement, leurs poils, vrais stigmates, » se dressent. Pendant ce temps l'étamine externe ouvre » *le bas* (2) de son anthère par deux fentes, le pollen se

(1) Ce mémoire est inséré dans le *Journal d'agriculture pratique de Belgique*, T. 5 (1852) et T. 6 (1853). Nous citerons toujours le tirage à part fait à Liège, 1853, in-8°, que je dois à l'extrême obligeance de M. Edouard Morren.

(2) C'est sans aucun doute par inadvertance et par suite du renversement des anthères dans le mouvement de bascule qu'elles éprouvent, que la figure 4 de ce mémoire représente ces organes ouverts par leur base et non par leur sommet organique, comme cela a lieu dans toutes les Graminées ; cette figure a entraîné la même indication dans le texte ; l'auteur donne également des figures du *Secale cereale* L. et de l'*Hordeum vulgare* L. qui montrent les anthères émettant leur pollen par leur sommet organique.

» projette et tombe de haut en bas sur les poils stigmati-
» ques : l'anthère se vide alors pour un tiers environ.
» Nous avons toujours trouvé que l'étamine externe com-
» mençait l'opération. Puis, les deux autres étamines agis-
» sent de même, mais nous pensons que leur projection
» de pollen est en quelque sorte inutile ; car, vu le nom-
» bre restreint de granules polliniques qu'on trouve plus
» tard avoir été actifs dans l'opération, la quantité de
» pollen projeté par l'étamine externe est plus que suffi-
» sante pour accomplir la fécondation. Nous pensons
» donc que les deux étamines internes, celles protégées
» au commencement par les deux rebords de la paillette
» interne, ne sont là que comme réserves mâles; en cas
» d'un accident qui détruirait l'étamine externe. La
» nature abonde en précautions de ce genre.......
» Enfin, quand les étamines se sont vidées par le bout de
» leurs anthères pour un quart ou un tiers de leur con-
» tenu, le filet continuant de s'allonger, ces organes mâles
» se font jour au dehors ; ils glissent entre les paillettes
» et viennent au moyen de leur filet grêle et filiforme,
» voltiger au vent. Peu à peu les fentes anthériennes
» s'allongent, et, à la moindre secousse, le pollen flotte
» en nuage pulvérulent et jaune. Mais on vient de voir
» comment ce pollen ne féconde plus, comment c'est la
» première saillie qui a été efficace, et comment les
» stigmates internés dans les paillettes sont soustraits
» complément à l'action de ce pollen (1) ».

Le savant auteur de ce mémoire conclut de ces observations que la fécondation s'accomplit chez le froment à huis clos, dans l'intérieur des paillettes, avant que les éta-

(1) Ch. Morren, *Mémoire sur la fécondation des céréales*, Liège 1853, in 8°, p. 10 et 11.

mines ne se montrent à l'extérieur, de telle sorte que le croisement ou l'hybridité deviennent impossibles par l'action d'autre pollen. Ch. Morren va plus loin : il veut savoir ce que devient le grain de pollen qui tombe sur les stigmates ; aidé du microscope, il examine sa position sur les poils stigmatiques, il voit se former le boyau pollinique et le suit dans son trajet jusque dans l'ovule (1).

Mes expériences d'hybridation artificielle des *Ægilops* par les *Triticum* m'avaient rendu, depuis longtemps, témoin de l'ouverture des fleurs du blé et je ne croyais pas, en parlant occasionnellement, en 1870 (2), de la fécondation du blé s'opérant dans la fleur ouverte, signaler alors une chose nouvelle. Nos agriculteurs intelligents ont observé la floraison du blé et ont assisté à l'ouverture des fleurs et à la sortie des étamines. Mais les agriculteurs se lèvent à quatre heures du matin pour aller aux champs et saisissent ainsi la nature sur le fait. Il me semble vraisemblable que les auteurs que nous venons de citer, n'ont pas observé cet acte physiologique, au moment de sa plus grande activité et de ses résultats les plus apparents.

Mais il ne suffit pas de savoir que les fleurs du blé s'ouvrent comme celles des autres végétaux phanérogames ; il est utile de connaître tous les détails de la floraison. Nos observations ont été faites, pendant trois années consécutives, sur le blé de Lorraine imberbe, le blé du Cap blanc sans barbes, le blé du Roussillon barbu, la Touzelle blanche de Provence, les blés d'Agde barbu et imberbe, le blé de Noë et le blé seigle ; semés dans le

(1) Ch. Morren, *Ibidem*, p. 13, fig. 5.

(2) Godron, *Histoire des Ægilops hybrides*, dans les *Mémoires de l'Académie de Stanislas* pour 1869, p. 187 et 188, en note.

jardin attenant à ma maison, et les ayant sous mes yeux, j'ai pu très-facilement suivre et constater les phénomènes de leur floraison, dans sés diverses phases, consulter le thermomètre, l'hygromètre et noter immédiatement tous les détails observés.

J'ai constaté les faits suivants :

Ce sont les épillets situés sous le tiers supérieur de l'épi, qui offrent les premières fleurs ouvertes ; puis la floraison s'étend de là simultanément vers le haut et vers le bas de l'épi et les fleurs de chaque épillet, au nombre de 3 ou 4, dont la supérieure mâle ou stérile, s'ouvrent isolément de bas en haut dans l'espace de 3 à 4 jours. La floraison totale de chacune des diverses variétés de blé m'a paru avoir en moyenne une durée de 8 jours.

Si, avant l'anthèse, même alors qu'elle doit bientôt avoir lieu, on examine les glumelles, on constate que la supérieure s'encastre si exactement dans l'inférieure, que la cavité de la fleur est encore complétement et absolument close. Pour voir l'état et la situation relative des organes sexuels ainsi incarcérés, il faut écarter mécaniquement les glumelles. Cette opération m'a présenté à l'origine quelques difficultés ; elle demande une certaine adresse et un peu d'habitude pour ne pas déchirer ces enveloppes. Je m'y étais exercé depuis longtemps, dans le but de me procurer des anthères suffisamment mûres pour féconder des fleurs émasculées d'*Ægilops*. On réussit facilement si l'on s'adresse aux fleurs qui doivent s'ouvrir le lendemain. Pour cela, il faut attendre que la floraison du matin soit terminée et les anthères vides et pendantes sortant d'une fleur indiquent la fleur qui doit lui succéder dans l'ordre de floraison que nous avons fait connaître plus haut. On a, par conséquent, un guide certain pour les reconnaître.

Le procédé que j'emploie pour séparer les glumelles est simple et habituellement les doigts seuls y suffisent. S'il s'agit d'un blé imberbe, la glumelle inférieure est toujours pourvue à son sommet d'un mucron assez solide qui représente l'arête avortée. Si, avec l'index et le pouce de la main gauche, on fixe l'épi un peu au-dessous de l'épillet dont on veut ouvrir une fleur, on accroche le mucron avec l'ongle de l'index ou du doigt médian de la main droite et, par un mouvement un peu brusque en dehors, on sépare la glumelle inférieure de la supérieure ; mais si celle-ci est entraînée dans ce mouvement, ce qui arrive quelquefois, en exagérant un peu la traction on obtient la séparation des deux organes accolés. La fleur reste ouverte et l'on peut à loisir examiner les rapports des anthères et des stigmates. Si le blé porte des barbes et qu'on tire sur cet appendice, il se rompt facilement en emportant une partie de sa base ; il faut le couper au-dessus de celle-ci et agir comme dans le cas précédent. Cette opération est, du reste, plus facile à exécuter sur les blés d'Agde et, en général, sur les blés du midi qui, vers l'époque de la floraison, ont leurs glumelles moins rigides que les blés cultivés dans le nord de la France.

Voici ce qu'on observe, la veille de la floraison, dans cette fleur ouverte mécaniquement. L'anthère antérieure portée sur un très-court filet est parfaitement visible ; les deux anthères latérales ne sont pas encore complétement dégagées des deux plis longitudinaux que forme vers l'intérieur la glumelle supérieure, à partir de chacune de ses deux carènes ; ces plis couvrent encore en partie et obliquement la base et l'un des côtés de ces deux anthères. Celles-ci paraissent un peu moins jaunâtres que l'anthère antérieure, comme si leur emprisonnement partiel avait légèrement retardé leur degré de maturité.

Les stigmates dressés et parallèles sont masqués par l'anthère antérieure, qu'il faut écarter pour les voir.

Au lieu d'opérer cette manœuvre la veille de la floraison, on peut l'appliquer le matin même, mais de très-bonne heure, à 4 heures du matin, par exemple, aux fleurs qui vont s'ouvrir, ce que l'on reconnaît ordinairement à un léger entrebaillement des glumelles qui permet d'apercevoir dans la fente le sommet des anthères nubiles ou seulement de l'une d'elles, l'antérieure. L'écartement mécanique des glumelles est bien plus facile encore que la veille. On voit alors, dans la fleur ouverte, les trois anthères dégagées, mais groupées en pyramide et toutes d'une teinte jaune qui m'a paru uniforme ; elles sont encore parfaitement closes et aucune trace de pollen ne se voit au dehors. Les stigmates ne sont pas étalés ou à peine.

Tel est l'état des choses au moment où l'anthèse va s'opérer spontanément. Mais, dans la floraison du blé, les phénomènes ne sont pas uniformes comme chez les Graminées sauvages. Ils peuvent être, non-seulement retardés ou suspendus, mais modifiés par les conditions météorologiques auxquelles la fleur est actuellement soumise.

C'est à quatre heures et demie du matin que les premières fleurs commencent à s'ouvrir largement si la température est au moins de 16° c. et si les autres conditions, dont nous parlerons plus loin, sont également favorables. C'est vers cinq heures ou cinq heures et demie que la floraison devient abondante, si la température que reçoit le blé s'est élevée à 18° ou plus, ce qui a lieu le plus souvent si le soleil donne sur la plante. Toutefois la lumière directe n'est pas indispensable et, par un ciel voilé, mais à chaleur égale dans les deux cas, on

obtient même ordinairement une plus belle floraison. La durée de cette fonction est d'autant moins longue que la température augmente plus rapidement. Dans ces conditions favorables, à six heures et demie ou sept heures, on ne voit plus s'ouvrir qu'un très-petit nombre de fleurs et l'on peut considérer la floraison comme terminée.

L'ouverture complète des fleurs, dans les circonstances que nous venons d'indiquer, nous a présenté les phénomènes suivants. Les glumelles s'entrouvent d'abord très-légèrement au sommet et restent dans cette situation pendant peu de temps ; puis elles s'écartent l'une de l'autre assez brusquement et forment entre elles un angle d'environ 45°. Les anthères dressées et accolées en pyramide au centre de la fleur s'élèvent bientôt presque verticalement, et toutes les trois en même temps, par l'allongement assez rapide de leurs filets pour qu'on puisse suivre à l'œil ce mouvement d'ascension; elles ne rencontrent en l'effectuant aucun obstacle dans une fleur complétement ouverte et ne sont pas animées d'un mouvement de torsion, comme on l'a affirmé à tort. Elles restent ainsi peu de temps dressées sur leur filets encore raides, au-dessus de la fleur. Elles sont encore parfaitement entières et les stigmates s'étalent latéralement un peu au dessus de la base des glumelles et un peu en dehors de leurs bords. Mais le filet, par l'effet naturel de son allongement rapide, s'amincit, perd vite sa rigidité et ne peut bientôt plus soutenir le poids de l'anthère. Celle-ci s'incline d'abord un peu en dehors et c'est alors qu'on aperçoit sous son sommet, et de chaque côté, une fente très-courte par laquelle s'écoule une petite quantité de pollen. Puis bientôt l'anthère bascule, entraîne son filet mince comme un fil de cocon et reste suspendue à son extrémité. La secousse qui en résulte provoque l'écoule-

ment d'une nouvelle quantité de pollen qu'on distingue quelquefois à l'œil nu sous forme de nuage; mais l'anthère n'est pas encore complétement vidée et le reste de la poussière pollinique s'écoule successivement par petites ondées, au fur et à mesure que les deux ouvertures primitives de l'anthère s'élargissent et s'allongent. Les phénomènes se succèdent ainsi lorsque l'atmosphère est parfaitement calme; mais, si les épis sont agités, même légèrement, l'écoulement du pollen est plus rapide. Il est à remarquer qu'après avoir basculé, les anthères et surtout leur sommet organique percé de deux trous sont placés bien au dessous des stigmates de leur propre fleur et que le pollen qui s'en échappe ne peut féconder que les fleurs ouvertes placées au-dessous et appartenant à d'autres épillets du même épi, ou bien, s'il y a agitation de l'air, les fleurs d'un autre épi plus ou moins voisin. Il y a donc déjà là deux modes de fécondation croisée, qui sont possibles. Mais la fécondation directe de la fleur par elle-même peut-elle aussi se présenter? que devient cette petite quantité de pollen qui s'échappe tout d'abord des ouvertures primitives de l'anthère alors qu'elle commence à s'incliner un peu au-dessus de la fleur?

J'ai voulu m'assurer si ce pollen tombait ou ne tombait pas directement sur les stigmates de la fleur qui l'a produit et j'ai fait, pour éclairer cette question, les expériences suivantes. Par un temps parfaitement calme, une fleur s'ouvre sur un épi et n'est dominée par aucune autre en voie de floraison; ses anthères basculent ordinairement toutes du même côté, je les enlève avec une petite pince après avoir fixé l'épi avec deux doigts de la main gauche, pour éviter toute secousse, et j'examine les stigmates à la loupe. J'ai répété souvent cette pratique et j'ai constaté que les résultats sont variables : tantôt j'ai vu les sti-

gmates parfaitement vierges; tantôt l'un deux, celui qui est placé du côté où les anthères ont basculé, avait reçu quelques grains de pollen ou une quantité plus grande, et plus rarement le second stigmate en était parsemé. J'ai observé, ce qui explique ces modifications, que dans les cas où l'allongement des filets et le mouvement de bascule se faisaient rapidement, les stigmates étaient rarement atteints. Mais lorsque ces phénomènes se succèdent plus lentement, la petite quantité de pollen qui s'échappe des ouvertures primitives des anthères, et surtout de l'antérieure un peu plus précoce, au moment où elles commencent à s'incliner latéralement sur leurs filets, doit atteindre facilement le stigmate du même côté et souvent les deux. Ce dernier résultat est bien plus assuré encore si l'une des anthères latérales, au lieu de basculer, s'accroche aux cils des carènes ou aux dents de la glumelle supérieure, ce qui a lieu quelquefois.

Les observations précédentes, faites dans mon jardin, ont été répétées avec plus de facilité sur des échantillons de blé coupés la veille au soir et placés le pied dans l'eau, chacun isolément dans un flacon à col étroit où ils étaient fixés dans la direction verticale par du coton introduit dans le col. Ces échantillons placés à l'intérieur sur les croisées de ma chambre à coucher et exposés au soleil levant, ont fleuri d'autant mieux que la température y était plus élevée qu'au dehors de plusieurs degrés et les phénomènes de la floraison se sont succédé rapidement. Mais aussi, j'ai constaté plus souvent que les stigmates n'avaient pas reçu de pollen, au moment où les anthères avaient exécuté leur mouvement de bascule.

Nous ferons encore observer qu'on rencontre, mais rarement dans le cours de la journée, une ou deux fleurs

retardataires qui s'ouvrent à une heure insolite. C'est ce qui explique l'assertion de Loiseleur-Deslongchamps (1), qu'il a observé, une fois, quelques fleurs de blé ouvertes à 4 heures du soir. Mais ces faits tout-à-fait exceptionnels se voient aussi sur les Graminées sauvages.

On voit donc que les moyens de transport du pollen sur les stigmates sont multiples, qu'ils se complètent et se substituent l'un à l'autre pour assurer la fécondation. On comprend qu'avec ce luxe de précautions, l'hybridité et même le métissage entre espèces ou variétés de blé deviennent à peu près impossibles.

Lorsque les stigmates ont reçu le pollen, la fleur ne reste pas longtemps à se refermer, ce qui a lieu peu à peu; mais les stigmates rentrent d'abord et bientôt se pelotonnent et se flétrissent. L'ovaire s'accroît rapidement.

Nous venons d'étudier la question de la floraison du blé s'opérant dans les conditions les plus favorables, c'est-à-dire normales et nous constatons déjà combien elle est complexe. Elle le devient bien plus encore si nous examinons les modifications qu'elle présente, quand les circonstances lui sont moins propices.

Si la température est, à 4 heures 1/2 du matin, inférieure à 16°, la floraison peut être simplement retardée, jusqu'à ce que la chaleur que la plante reçoit devienne suffisante dans un délai peu prolongé. C'est ainsi que j'ai vu plusieurs fois une floraison abondante se manifester à 7 et même à 8 heures du matin, la température s'étant élevée au degré utile ou l'ayant même dépassé. Mais si elle se maintient à 14 ou 15°, la fonction est non seulement retardée, mais modifiée dans ses phénomènes

(1) Loiseleur-Deslongchamps, *Considérations sur les céréales*, etc. Paris, in-8°, 1re partie, (1842), p. 79.

normaux. Les fleurs ne s'ouvrent plus complètement, mais s'entrouvrent seulement au sommet; les anthères sortent lentement, quelquefois en bloc, mais souvent les unes après les autres ; il arrive même, quoique rarement, que les deux anthères latérales ne sortent pas du tout. Mais alors les anthères sont déjà ouvertes, avant qu'elles n'aient franchi complètement la fente béante au sommet des glumelles; et déjà une partie de leur pollen est répandue sur les deux stigmates un peu étalés dans l'intérieur de la fleur. Puis enfin elles se dégagent, basculent et versent au dehors le pollen qu'elles contiennent encore. C'est là le mode de floraison que paraît avoir observé Ch. Morren et qu'il a décrit (1). On s'explique très-bien, par les faits que nous venons de signaler, la prépondérance qu'il accorde à l'anthère de l'étamine antérieure; elle doit souvent, mais non toujours, verser la première son pollen sur les stigmates de sa propre fleur et déterminer ainsi la fécondation directe.

Enfin, si la température se maintient à un degré plus inférieur encore, à 12 ou 13° par exemple, les fleurs, qui étaient préparées à fleurir ce jour là, ne s'ouvrent pas et les anthères incluses fécondent directement et à huis clos les stigmates dans le courant de la journée. On peut s'assurer de ce fait en ouvrant mécaniquement les fleurs qui auraient dû fleurir le matin. Lors même que la floraison du blé est complètement terminée et que les caryops sont déjà en voie de développement, si l'on ouvre toutes les fleurs d'un même épi, on retrouve, dans celles qui ont été fécondées à huis-clos, les membranes des anthères pelotonnées avec les stigmates flétris et formant

(1) Ch. Morren, *Mémoire sur la fécondation des céréales*, etc., Liège, 1853, p. 10 et 11.

un petit cône au sommet de l'ovaire ; on l'y retrouve encore, le plus souvent, au moment de la maturité du grain. Ces observations, que j'ai faites plusieurs fois sur diverses variétés de blé, m'ont conduit aussi à reconnaître que, sous notre climat, les deux fleurs inférieures de l'épillet sont généralement fertiles, la troisième l'est quelquefois et c'est une exception rare de trouver un grain rapetissé dans la quatrième. Mais nous avons aussi trouvé, dans une des fleurs d'un épillet, l'inférieure ou la suivante, l'ovaire avorté et les anthères desséchées, tandis que dans l'autre les anthères étaient pelotonnées, au sommet de l'ovaire développé. Ce n'est, cependant, pas le pollen qui a manqué à la fleur stérile et comme ce fait s'est montré à nous assez souvent et sans traces de maladie spéciale, nous nous demandons si la fécondation directe ne serait pas défavorable à la fertilité ? Cela nous semble infiniment probable.

Le défaut de température, assez fréquent dans le nord de la France, est donc la cause qui empêche l'ouverture des fleurs et détermine la fécondatiou à huis clos. Elle n'est pas la seule qui modifie de cette manière la floraison du blé. La pluie, avec raison si redoutée par nos agriculteurs lorsqu'elle tombe précisément à l'époque de l'anthèse de cette céréale, est d'autant plus défavorable que, dans le nord de la France, elle se combine trop souvent avec un refroidissement de l'atmosphère. Ces deux agents réunis doivent contribuer beaucoup à la diminution du rendement de nos céréales. Nous avons dû, dès lors, étudier l'influence de la pluie sur la floraison et la fécondation du blé.

S'il a plu, pendant la nuit jusqu'au lever du soleil, et que les épis du blé soient encore à l'heure de la floraison recouverts de gouttelettes d'eau et bien que

la température de l'air ambiant soit suffisante, comme cela arrive après les pluies tièdes, la floraison est ordinairement retardée. Mais l'évaporation même de l'humidité qui couvre l'épi doit refroidir la fleur et devient ainsi indirectement une cause défavorable à la floraison. Mais si l'humidité ne tarde pas à disparaître, la floraison peut encore avoir lieu. Je l'ai vue, dans de semblables circonstances, commencer à 7 heures, une autre fois à 8, être assez régulière, mais peu abondante.

Si la pluie est continue pendant plusieurs jours, ce qui n'a lieu que trop souvent deux semaines avant le solstice d'été (pluies de Saint-Médard), les fleurs ne s'ouvrent pas et la fécondation a lieu à huis clos. Ce n'est donc pas *par coulure* que la fécondation se fait mal dans un certain nombre de fleurs et cette circonstance vient confirmer les idées émises plus haut, sur l'influence peu favorable de ce mode de fécondation. Toutefois, la clôture des fleurs s'oppose, du moins, à ce que la récolte soit perdue tout entière.

Le blé est quelquefois couché par les ouragans et les pluies battantes avant la floraison, et Ch. Morren (1) a constaté qu'il y a dans ce cas déficit dans la récolte. Il fait observer avec beaucoup de raison que, dans cette position complètement anormale, les phénomènes doivent être moins actifs et que la plante reçoit moins de soleil. Nous ajouterons que l'épi, étant placé ainsi horizontalement ou presque horizontalement, si les fleurs s'ouvrent complètement, ce qui doit être rare, le pollen ne peut directement atteindre les stigmates de sa propre fleur lorsque les anthères basculent, et qu'il en est de même si la fleur s'entrouvre seulement pour laisser passer lentement les organes mâles, à moins que le pollen ne

(1) Ch. Morren, *Mémoire sur la fécondation des céréales*, p. 15.

rencontre au-dessous des fleurs complétement ouvertes. La fécondation doit se faire principalement à huis clos.

Ces variations dans les phénomènes qui précèdent immédiatement ou qui accompagnent la fécondation du blé, sous notre climat, constituent un état de choses qui doit paraître d'autant plus insolite que, si l'on excepte les espèces du genre *Stipa* et les panicules incluses du *Leersia oryzoides*, l'ouverture de la fleur et la sortie des anthères au moment de l'anthèse sont des faits constants dans les Graminées sauvages qui couvrent le sol de nos prairies et de nos bois.

Une différence aussi capitale ne peut s'expliquer que par cette considération que le froment n'étant pas indigène chez nous, n'y rencontre pas toujours, pendant la durée de la floraison, les conditions au milieu desquelles il vivait dans son pays d'origine aujourd'hui inconnue, et qui, sans aucun doute, se rencontrent dans les contrées de la terre où on le cultive avec le plus de succès. Dans ces régions privilégiées, la floraison du blé doit être normale; sa fertilité doit y être complète et cette précieuse céréale doit s'y reproduire spontanément et s'y perpétuer même sans culture, comme elle l'a fait primitivement à l'état sauvage. Or, il n'en est pas ainsi dans nos climats et, d'après les observations unanimes des agriculteurs, il ne s'y propage pas de lui-même pendant plus de deux ans après la première culture (1).

Mais dans les pays où il y a pu se naturaliser, la température, qui constitue l'influence la plus active exercée sur la floraison des Graminées, lorsqu'elle n'est pas excessive pour le blé, devait y être plus élevée et plus

(1) Dureau de la Malle, dans les *Annales des sciences naturelles*, 1e série, T. 9 (1826), p. 61.

égale que dans le Nord de la France. Cette céréale ne pouvant non plus être cultivée avec succès dans les pays où les pluies sont rares et par conséquent le sol aride, une certaine humidité du terrain et une chaleur matinale modérée paraissent indispensables pour donner à ses fonctions de reproduction l'activité nécessaire.

Or, on connaît, par le témoignage des anciens et des modernes, des pays où ces conditions existent et où ces résultats ont été constatés.

Hérodote (1) nous apprend que, de son temps, la Babylonie était un pays très-riche par les productions du sol, mais surtout extrêmement fertile en froment. Cette grande fécondité s'est conservée jusque dans les temps modernes et Olivier (2), qui parcourait ce pays, pendant les dernières années du XVIIIe siècle, assure que les orges et les froments produisent 30 à 40 fois autant que la graine confiée à la terre. Si les plaines de la Babylonie ne sont plus, comme autrefois, arrosées par un système de canaux (3), elles ne sont pas partout privées d'eau aujourd'hui. Toute la partie méridionale de la Mésopotamie est une plaine basse, entièrement formée par les

(1) *Herodoti Halicarnassei historiarum lib. 1*, 193.

(2) Olivier, *Voyage dans l'Empire ottoman, l'Egypte et la Perse*, Paris, 1805, in-4o, T. 2, p. 240.

(3) Dans une inscription cunéiforme déchiffrée par M. Ménant, le roi Hammourabi s'exprime ainsi: « J'ai fait creuser le canal » Hammourabi, la bénédiction des hommes de la Baby- » lonie...... J'ai dirigé les eaux de ses branches sur les » plaines désertes, je les ai fait déverser dans les fossés des- » séchés; j'ai donné ainsi des eaux perpétuelles aux peu- » ples...... j'ai changé les plaines désertes en terres arro- » sées, je leur ai donné la fertilité et l'abondance, j'en ai fait » une demeure de bonheur. »

alluvions de l'Euphrate et du Tigre et présente les mêmes caractères que l'Egypte; sa fertilité est due aux deux fleuves qui l'arrosent. Il n'y pleut jamais et la terre n'est fécondée que là où se répandent leurs inondations périodiques; elles en font un véritable oasis au milieu du désert. Ajoutons que la floraison et la fructification du blé n'y attendent pas les chaleurs de l'été et que la moisson y est parfaitement mûre au premier printemps.

La culture du blé en Egypte présente les mêmes circonstances favorables et, bien qu'on ait exagéré son rendement, il n'en est pas moins établi qu'il donne, dans les années ordinaires, quinze à vingt pour un et, dans les années d'abondance, vingt-cinq, trente et même quarante pour un (1). En France le rendement du froment n'est que cinq 21/100 pour un, d'après Loiseleur-Deslongchamps (2).

Il est, en outre, des contrées où le froment se reproduit spontanément, même dans les lieux incultes. Théophrastes (3) et Pline (4) signalent ce fait comme démontré dans les plaines de la Babylonie. Strabon (5) nous donne les indications suivantes : « In Hyrcania ferunt..... » frumentum ex semine quod ex spicis decidit renasci », et plus loin : « Hyrcania fertilis admodum est...... nam » frumentum è semine, quod ex arista excidit, nasci- » tur. » Cette contrée est située au sud de la mer Cas-

(1) Clot-Bey, *Aperçu général sur l'Egypte*, T. I, p. 96.

(2) Loiseleur-Deslongchamps, *Considérations sur les céréales*, Paris, in-8°, 2e partie (1843), p. 6.

(3) *Theophrasti de historia et causis plantarum lib.* VIII, *cap.* 2.

(4) *Plinii secundi historiæ naturalis lib.* XVIII, *cap.* 17.

(5) *Strabonis rerum geographicarum*, *Amstelodami*, 1707, in-f°, T. I, p. 124, et il répète le même fait, T. 2, p. 776.

pienne; elle correspond à peu près au Mazenderan actuel, dont le climat est chaud et humide (1).

Le voyageur Olivier (2) a retrouvé le froment, l'orge et l'épeautre, croissant spontanément dans les terres incultes de la Mésopotamie; il a observé également le froment, dans les mêmes conditions, sur la rive droite de l'Euphrates, au nord-ouest d'Anah.

Enfin, M. Balansa (3), en juin 1854, a trouvé, au mont Sypile, en Anatolie, le *Triticum sativum* de nos moissons.

Les assertions des auteurs anciens et même des voyageurs modernes, qui ont cru retrouver la patrie du blé dans diverses parties de l'Asie, ne tranchent pas la question. L'on peut se demander si, dans ces lieux où ont fleuri d'anciennes civilisations et qui ont été habités par des peuples agriculteurs dans une haute antiquité, le blé qu'on y a trouvé à l'état spontané ne provient pas de blé autrefois cultivé et qui serait redevenu sauvage. C'est là une difficulté qui rendra peut-être toujours impossible la solution de cette question (4).

Plusieurs auteurs ont émis l'opinion que le blé cultivé aujourd'hui est un produit de l'industrie de l'homme; ils l'ont fait naître d'une espèce primitive, méconnaissable

(1) Am. Jaubert, *Voyage en Arménie et en Perse*, Paris, 1821, in-8°, p. 245.

(2) Olivier, *Voyage dans l'Empire ottoman*, etc., Paris, 1807, in-4°, T. 3, p. 460.

(3) Balansa, *Bulletin de la soc. bot. de France*, T. I (1854), p. 108.

(4) Dureau de la Malle (*Annales des sciences naturelles, sér. I*, T. 9, 1826, p. 65), en s'appuyant sur les textes des anciens auteurs et procédant par voie d'exclusion, a été conduit à considérer la Palestine comme la patrie du blé. Il cherche, en outre, à confirmer cette opinion sur l'autorité de Moïse (*Deuteronome* VIII) qui appelle cette province de la Syrie « la terre du

aujourd'hui, tant elle a été défigurée par la culture. Buffon (1) soutenait cette opinion avec conviction ; il s'exprime ainsi : « Le blé est une plante que l'homme a chan- » gée au point qu'elle n'existe nulle part dans l'état de » nature : on voit bien qu'il a quelques rapports avec » l'ivraie, avec les gramens, les chiendents et quelques » autres herbes des prairies ; mais on ignore à laquelle » de ces herbes on doit le rapporter ; et comme il se » renouvelle tous les ans et que, servant de nourriture » à l'homme, il est, de toutes les plantes, celle qu'il a le » plus travaillée, il est aussi, de toutes, celle dont la » nature est la plus altérée. » Il revient à cette idée, dans un autre de ses ouvrages (2) : « Le grain, dit-il, dont » l'homme fait sa nourriture n'est point un don de la » nature, mais le grand, l'utile fruit des recherches de » son intelligence dans le premier des arts » (3).

froment », et sur celle de Diodore de Sicile (lib. 1, *cap.* 14) qui assure que c'est à Nysa que « Osiris trouva le blé et l'orge, croissant au hasard dans le pays, parmi les autres plantes. » Il démontre que Nysa était en Palestine, dans la vallée du Jourdain.

(1) Buffon, *Histoire naturelle générale et particulière*, éd. in-4° de l'imprimerie royale (*Histoire naturelle du chien*), T. 5, p. 195.

(2) Buffon, *Époques de la nature*, supplément au T. 5, p. 249.

(3) Voltaire (*Dictionnaire philosophique, art. blé*), se moque de cette idée de Buffon : « De grands philosophes, dit-il, dont » nous estimons les talents, mais dont nous ne suivrons pas les » systèmes, ont prétendu, dans l'histoire naturelle du chien, » que les hommes ont fait le blé : que nos pères, à force de » semer l'ivraie et le gramen, les ont changés en froment. » Comme ces messieurs ne sont pas de notre avis sur les » coquilles, ils permettront que nous ne soyons pas du leur » sur le blé. Nous ne pensons pas qu'avec du jasmin on ait » fait venir des tulipes ; nous trouvons que le germe du blé est

Desvaux (1) pense aussi que le blé cultivé est une plante profondément modifiée. M. Alph. de Candolle (2) combat cette idée par des considérations très-sérieuses et personne n'admet plus aujourd'hui cette opinion, pas même, du moins explicitement, les partisans de la doctrine transformiste.

Rappelons, du reste, que l'un des premiers apôtres de cette doctrine, Lamarck (3) avait déjà combattu les idées de Buffon sur cette question dans les termes suivants : « Nous regardons cette opinion comme très-peu fondée, » parce que les altérations que produit la culture ne peu» vent jamais changer les caractères essentiels d'une » plante. En effet, ou ces altérations dénaturent entière» ment les parties de la fructification en les transformant » en d'autres parties, comme des étamines en pétales, et » des pétales ou des calices en feuilles ; ou bien elles » augmentent seulement, par un embonpoint particulier, » les dimensions des parties de la plante, sans rien chan» ger à leurs proportions, mais nous ne voyons pas que » les altérations dont il s'agit aient jamais changé les » caractères essentiels d'une plante. Si en effet les orga» nes de la génération ne sont point transformés en des

» tout différent de celui de l'ivraie et nous ne croyons à aucune » transformation. » On sait que Voltaire donnait pour origine aux coquilles fossiles, celles que les pélerins portaient attachées à leurs manteaux et qu'ils auraient perdues en route dans leurs pérégrinations.

(1) Desvaux, *Mémoire sur les froments cultivés en France*, dans les *Mémoires de la société d'agriculture, sciences et arts d'Angers*, T. 1 (1834), p. 302 et suivantes.

(2) Alph. de Candolle, *Géographie botanique raisonnée*, Paris, 1855, grand in-8°, T. 2, p. 929 et 930.

(3) Lamarck, *Encyclopédie méthodique : Botanique*, Paris, 1786, in-4°, T. 2, p. 557.

» parties incapables de produire le fruit, il n'y a point
» d'exemples que ces organes conservant leurs facultés,
» aient pu prendre des caractères qui ne sont point ceux
» de la plante à laquelle ils appartiennent. Nous
» concluons de là que le *Froment* cultivé dont nous trai-
» tons, peut être une plante moins élevée, plus maigre
» dans ses parties et à semences moins grosses, dans son
» lieu natal; mais qu'ayant, dans l'état où nous la voyons,
» tous les organes propres à la formation de son fruit,
» puisqu'elle nous en enrichit avec profusion, cette plante
» est encore parfaitement la même que dans son origine,
» au moins relativement aux caractères de sa fructifica-
» tion. »

La longue culture du blé, qui remonte à l'origine même de l'agriculture, et la Genèse nous apprend qu'elle date de loin (1), a sans doute, comme chez la plupart des végétaux cultivés de temps immémorial, produit dans le *Triticum sativum*, des variétés héréditaires, c'est-à-dire des races, mais qui ne diffèrent entre elles que par l'absence ou la présence d'arêtes, par les glumes et les glumelles plus ou moins glabres ou velues, par la couleur verte, glauque ou noirâtre de l'épi, etc.

Ce qui nous étonne c'est qu'une plante qui se resème tous les ans, depuis une haute antiquité, n'ait pas subi de modifications plus importantes. Ce serait sortir de notre sujet que de discuter ici cette question de races.

Guidé par l'induction, nous considérons comme infiniment probable que, dans les pays où le blé peut se perpétuer sans le secours de l'homme et aussi dans ceux où, cultivé, il atteint toute sa fécondité, les fleurs de cette céréale doivent toutes, au moment de la floraison, s'ouvrir

(1) *Genesis cap.* IV, *vers.* 2.

largement et répandre en abondance leur pollen au dehors. Sans doute l'observation directe peut seule établir ce fait d'une manière incontestable et nous en désirons la vérification. Il n'est pas nécessaire pour cela de faire le voyage d'Egypte ou de Mésopotamie. Par nos consuls et nos médecins sanitaires dans ces pays, on pourrait obtenir l'envoi d'épis de blé recueillis après la fécondation, et il serait facile de constater si les anthères ont été complètement expulsées des fleurs, ce qui est l'indice certain d'une floraison normale. On y constaterait aussi le nombre des ovaires fécondés dans chaque épillet. J'ai prié mon excellent ami, le docteur Gaillardot, médecin sanitaire à Alexandrie, d'y faire cette vérification et de m'envoyer des épis fécondés de cette céréale. Malheureusement, cette année (1872), ses fonctions officielles l'ont appelé, au moment favorable, à Suez, pour y constater l'état de santé des pélerins de La Mecque se rendant à Djeddah.

II. — LES ORGES.

Les auteurs anciens nous parlent de la patrie de l'orge, mais ils ne nous ont pas laissé de détails suffisants, pour qu'il soit possible de reconnaître l'espèce d'orge qu'ils ont voulu désigner. Parmi les modernes, le voyageur Olivier (1) n'est pas plus explicite sur ce point et se contente d'indiquer l'orge en général, comme croissant spontanément en Mésopotamie et sur la rive droite de l'Euphrate. C. A. Meyer (2) nous a fourni un fait plus précis : il affirme que l'*Hordeum distichon* L. est abori-

(1) Olivier, *Voyage dans l'empire ottoman, etc.*, T. 3, p. 460.
(2) C. A. Meyer, *Verzeichniss der Pflanzen Caucas.*, p. 26.

gène au Caucase, dans les prairies entre Lenkoron et Baku, non loin du littoral de la mer Caspienne. M. Ch. Koch (1), à son tour, a décrit un *Hordeum spontaneum* qui croît à l'état spontané, dans les steppes de Schirwan, au Sud-Est du Caucase et que M. Ledebour (2) qui a eu sous les yeux les échantillons eux-mêmes recueillis par le professeur de Berlin, a déterminé pour une forme de l'*Hordeum distichon L.*, qui ne se distingue de celui de nos cultures que par l'axe de son épi qui est éminemment fragile. Cette même forme spontanée a été aussi rapportée de la Perse Australe par Kotschy, qui en a distribué des échantillons sous le n° 290. Cette espèce d'orge est donc indigène ou complétement naturalisée au Sud du Caucase et en Perse. Cette fragilité de l'épi, qui permet à la plante sauvage de disséminer ses graines, ne se rencontre que rarement et accidentellement sur quelques pieds de notre *Hordeum distichon* cultivé; cette absence de fragilité habituelle dans cette dernière forme doit donc constituer une modification acquise par la culture et cette conclusion nous semble d'autant plus évidente que la fragilité de l'axe de l'épi est un fait constant dans toutes nos espèces d'orges sauvages de la flore de France. Nous allons constater, du reste, une autre différence entre ces herbes de nos climats et les diverses espèces d'orges cultivées; elle est relative aux phénomènes de la floraison et au mode de fécondation qu'on observe dans ces dernières : ce qui ne doit pas nous étonner, depuis que nous avons constaté que, pour le blé, le mécanisme de cette fonction varie sous l'in-

(1) Ch. Koch, *Beitrage zur Flora des Orients*, in *Linnaea*, T. 21, p. 430.

(2) Ledebour, *Flora rossica*, *Stuttgartiae*, 1853, in-8°, T. 4, p. 327.

fluence des modifications dans les conditions météorologiques variables, auxquelles elles sont soumises dans nos cultures.

Hordeum distichon L. — Dans cette espèce les épillets médians sont uniflores, hermaphrodites et aristés ; les latéraux sont ordinairement mâles (1), mutiques et fleurissent plus tard que les épillets médians. Comme dans les autres espèces du même genre, la glumelle externe a ses bords renversés en dedans et enveloppe ceux de la glumelle interne, si ce n'est vers le sommet, où ces deux enveloppes florales sont saillantes, lâches et s'écartent suffisamment, à l'époque de la floraison, si les conditions météorologiques sont favorables, pour permettre la sortie des anthères. Les stigmates sont étalés dans la fleur. C'est, en moyenne, de 6 à 8 heures du matin, que cette fonction s'exécute, dans nos climats, lorsque la température atteint de 18 à 20°, supérieure à la chaleur *minimum* à laquelle fleurissent nos *Hordeum* sauvages en Lorraine. Alors les anthères sortent ; elles sont déjà ouvertes au sommet par deux trous circulaires à bords saillants et imprègnent ordinairement les stigmates de leur propre fleur. Je m'en suis assuré en enlevant les anthères basculées de la fleur ouverte la plus élevée, par le même procédé que pour le blé, et trois fois seulement j'ai trouvé les stigmates vierges. Mais, si cette condition de chaleur n'est pas remplie ou si les épis sont humectés par la pluie, les fleurs ne s'ouvrent pas, les anthères se rompent dans la fleur close, répandent directement leur pollen sur

(1) J'ai observé, au jardin botanique de Nancy, en 1870, des pieds de cette espèce dont les épillets latéraux étaient neutres. J'ai observé également quelques pieds de *Hordeum pratense L.* sauvages qui présentaient la même anomalie.

les stigmates et on en retrouve les membranes desséchées au sommet du caryops.

On peut se demander à quoi servent les épillets latéraux mâles, puisqu'ils fleurissent après les épillets hermaphrodites ? Elles représentent, ce nous semble, les fleurs hermaphrodites latérales des *Hordeum vulgare L.* et *H. hexastichon L.*

Hordeum hexastichon L. — Cette espèce a été cultivée de temps immémorial dans l'Inde et en Egypte. Elle a un nom sanscrit et c'est la seule espèce du genre qui soit cultivée dans ces deux pays (1). Robert Brown (2) a rencontré, dans des pains extraits des tombeaux de la haute Egypte et rapportés par Heninken, plusieurs glumes d'orge entières et parfaitement semblables à celles de cette espèce cultivée aujourd'hui dans la vallée du Nil. Il a, de plus, reconnu à la base de ces glumes d'orge antique un petit rudiment, dont l'existence n'est pas signalée dans les descriptions des botanistes modernes, mais qu'il a vu également dans l'orge de nos moissons. Unger (3) a trouvé dans les briques de la pyramide de Dashour (3400 à 3300 ans av. J.-C.) des débris organiques. Ces briques sont faites de limon du Nil, de sable du désert et de paille hachée, comme l'indique la Bible (4). Il y a reconnu des fragments de plusieurs espèces végétales et notamment de l'orge et du froment.

(1) Alph. de Candolle, *Géographie botanique raisonnée*, T. 2, p. 935.

(2) Robert Brown, dans les *Annales des sciences naturelles*, sér. 1, T. 9, p. 72.

(3) Unger, *L'Institut* (partie scientifique), n° du 24 décembre 1866.

(4) *Exodis cap.* 5, *vers.* 11.

L'orge à six rang égaux a tous ses épillets hermaphrodites (1). Les phénomènes de la floraison sont les mêmes que dans l'*Hordeum distichon L.* ; ils sont également subordonnés à la température relativement à la floraison, et présentent les mêmes variations.

Hordeum vulgare L. — Les épillets de cette espèce sont aussi disposés sur six rangs, dont deux sont plus saillants et tous sont fertiles. La floraison ne présente, avec les espèces précédentes, d'autres différences que celles-ci : les fleurs s'ouvrent un peu plus et les stigmates étalés montrent leur sommet au dehors vers le milieu de la hauteur des glumelles. Cette disposition peut dès lors permettre, moins rarement que dans les autres espèces d'orges cultivées, la fécondation croisée suppléant, à l'occasion, la fécondation directe.

Hordeum zeocriton L. — Tous les pieds que j'ai observés et qui provenaient de graines envoyées par M. Vilmorin, ne m'ont pas montré une seule fleur hermaphrodite ouverte. Les anthères s'ouvrent et versent leur pollen dans la fleur entièrement fermée et la fécondation a lieu nécessairement à huis-clos, fait extrêmement rare dans les végétaux sauvages. A la maturité, j'ai trouvé dans toutes les fleurs les anthères pelotonnées avec les stigmates au sommet du caryops ; elles font même un peu saillie et sont visibles vers le sommet de la glumelle supérieure. Les fleurs mâles peu développées et formant deux rangs sur chacune des faces de l'épi ne montrent pas non plus leurs anthères au dehors et leur pollen reste par conséquent sans usage. Elles tiennent la place des rangées similaires fertiles de l'*Hordeum hexastichon L.*

(1) Mon ami, le docteur Gaillardot, a observé en Syrie des épis de cette espèce à 8 et à 10 rangs.

Les orges cultivées sont vraisemblablement originaires d'une région de l'Asie plus chaude que la nôtre. Rien d'étonnant dès lors qu'elles modifient leur mode de floraison et qu'elles s'accommodent, comme le blé, aux circonstances météorologiques auxquelles elles sont soumises. Toutefois, je n'ai observé aucune espèce ou race de froment, offrant constamment la fécondation à huis-clos, comme je l'ai constaté dans l'*Hordeum zeocriton L.* Cette espèce serait-elle d'origine plus méridionale que ses congénères ?

III. LE SEIGLE.

C'est de six à sept heures du matin qu'on voit fleurir abondamment le seigle et il n'est pas nécessaire pour cela que la température soit très-élevée, si toutefois les autres conditions sont favorables; il suffit qu'elle atteigne 14°.

Les fleurs s'ouvrent alors assez vivement; les glumelles, en s'écartant, forment un angle de 15 à 18° et avant même la sortie des anthères on distingue facilement, au milieu des épillets rapprochés et surmontés de longues barbes, les fleurs qui viennent de s'ouvrir par l'écartement de l'arête de leurs glumelles. Les anthères sortent assez rapidement, mais sont déjà un peu ouvertes à leur sommet et peuvent verser déjà une petite portion de leur pollen dans la fleur avant de basculer. Mais si la sortie de ces organes est rapide, ce qui arrive souvent, et que le mouvement de bascule s'opère immédiatement, les stigmates peuvent rester vierges. C'est dans ces conditions, sans doute, que Lecoq (1) a observé la floraison, puis-

(1) Lecoq, *De la fécondation naturelle et artificielle des végétaux et de l'hybridation*, Paris, 1845, in-12, p. 12.

qu'il assure que les fleurs ouvertes reçoivent le pollen des fleurs placées plus haut sur l'épi, au moment où leurs anthères basculent. Mais nous nous sommes assuré, en ouvrant plus largement les fleurs, en prenant les mêmes précautions que nous avons indiquées pour faire la même observation sur les fleurs du blé, que si les stigmates ne sont pas toujours fécondés par le pollen émané des anthères de leur propre fleur, le contraire a lieu plus souvent. Les stigmates sont, du reste, étalés dans la fleur et sont un peu saillants en dehors vers le milieu des glumelles. On voit, dès-lors, que le *Secale cereale L.*, sous le climat de Nancy, se comporte, relativement aux phénomènes de la floraison, comme les espèces sauvages du même genre, cultivées seulement dans les jardins botaniques, depuis un petit nombre d'années.

J'ajouterai que, le 10 juillet 1870, j'ai observé des champs de seigles au-dessus de Gérardmer (Vosges), à 750 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. Cette céréale n'était pas encore complétement mûre et j'en ai recueilli une douzaine d'épis. J'en ai ouvert à loisir toutes les fleurs à mon retour à Gérardmer et je n'en ai trouvé aucune ayant conservé la moindre trace d'anthère. La floraison avait donc été normale.

En serait-il de même à une altitude plus élevée ou sous une latitude plus septentrionale, ce qui est la même chose?

Le seigle est cultivé, dans les montagnes, à une hauteur qui dépasse 750^{m}, au-dessus du niveau de la mer. Dans les vallées du revers oriental des Vosges elles-mêmes, la culture de cette céréale se rencontre jusqu'à 900^{m} (1); dans le Jura jusqu'à la haute région des

(1) Kirschleger, *Flore d'Alsace*, ed. 1, Strasbourg, in-12, T. 2 (1857), p. 359.

sapins (1); dans les Alpes de la Suisse au canton des Grisons jusqu'à 1624m (2); dans les Alpes de la Savoie, savoir : près de Saint-Remy jusqu'à 1754m, près de Cogne jusqu'à 1910m et près d'Aoste, jusqu'à 2046m (3); dans les Alpes du Dauphiné jusqu'à 2200m (4); en Auvergne jusqu'au sommet des plus hautes montagnes, c'est-à-dire à plus de 1800m (5); dans les Pyrénées orientales, au Canigou, jusqu'à 1640m (6); dans les Pyrénées centrales, au-dessus de Barèges jusqu'à 1364m (7); en Espagne, dans la Sierra-Nevada jusqu'à 2469m (8); sur l'Etna la limite des cultures de seigle atteint 1782m (9). Les indications, qui précèdent, sont presque toutes empruntées à M. Alph. de Candolle et on pourra en connaître le développement en consultant le savant travail qu'il a publié sur la géographie botanique (10).

(1) Grenier, *Flore de la chaîne du Jura*, Paris, 1869, in-8°, p. 921.

(2) Wahlenberg, *De vegetatione et climate in Helvetia septentrionali*, etc., *Taurici*, (1813, in-8°, p. 195.

(3) Aubuisson, *Journal de physique et de chimie*, T. 73 (1811) p. 163.

(4) Pyr. de Candolle, *Mémoire sur la géographie des plantes de France, etc.* dans les *Mémoires de la société d'Arcueil*, T. 3, p. 276.

(5) Lecoq et Lamotte, *Catalogue raisonné des plantes vasculaires du plateau central de la France*, Paris, 1848, in-8°, p. 407.

(6) Massot, *Comptes-rendus de l'académie des sciences de Paris*, T. 18 (1843), p. 750.

(7) Ch. Desmoulins, *Etat de la végétation sur le Pic du Midi de Bigorre, etc.*, Bordeaux, 1844, in-8°, p. 23.

(8) Edm. Boissier, *Voyage botanique dans le Midi de l'Espagne*, Paris, 1839-1845, gd in-4°, T. 1, p. 226.

(9) Philippi, in *Linnæa*, 1832, p. 746.

(10) Alph. de Candolle, *Géographie botanique raisonnée*, Paris, 1855, gd in-8°, T. 1, p. 376 et suivantes.

» point le reste de pieds primitifs, ou plutôt les pieds

Le seigle est donc la céréale qui végète aux plus hautes altitudes. C'est elle également qui est cultivée sous les latitudes les plus élevées dans le Nord de l'Europe et de l'Asie. Ainsi, en Norwège, Drontheim, par 63° 25′ de latitude Nord (1), et, en Sibérie, Nertchinsk à 51° 18′ de latitude boréale (et à 500^{m} d'altitude) et Jacoutzk à 62° 2′ de latitude boréale, sont les dernières limites de la culture du seigle (2).

Mais, si à ces altitudes et à ces latitudes, le seigle trouve la somme de température estivale nécessaire pour lui permettre de fructifier, il ne s'ensuit pas qu'il y rencontre le matin la température *minimum* qui lui est indispensable pour ouvrir ses glumelles, produire au dehors ses anthères, en un mot pour fleurir normalement. Ce que nous avons dit du froment et des orges nous conduit par analogie à penser que cette fonction doit se modifier. Il serait utile de s'en assurer par l'observation directe, seul moyen de savoir si nos prévisions sont fondées.

D'une autre part, la culture du *Secale cereale* ne paraît pas pouvoir s'étendre dans des contrées aussi méridionales que le froment et l'*Hordeum hexastichon*. Dans les îles de la Méditerranée et en Algérie il est à peine cultivé. Les anciens Egyptiens ne le connaissaient pas; il paraît inconnu dans l'Inde et n'a pas de nom sanscrit, ni de nom indien moderne (3). Plusieurs botanistes voyageurs

(1) Ch. Martins, dans le *Voyage en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux Feroë*; *Gépgraphie botanique*, Paris, g[d] in-8°, T. 2, p. 240.

(2) Ch. Martins, *Ibidem*, T. 2, p. 390.

(3) Alph. de Candolle, *Géographie botanique raisonnée*, T. 2, p. 937.

avaient cru le rencontrer à l'état sauvage, mais ils ont pris pour tel d'autres espèces du même genre réellement autochtones dans les pays parcourus par eux, par exemple : le *Secale creticum L.*, qui vit en Crète et en Corse ; le *Secale montanum Guss.*, en Sicile et en Calabre ; le *Secale dalmaticum Vis.*, en Dalmatie ; le *Secale fragile Kunth,* dans le Caucase ; le *Secale anatolicum Boiss.*, dans l'Asie mineure, le Caucase et l'Arménie russe.

Mais ce qui prouve qu'il doit être originaire d'une région tempérée, c'est qu'on le rencontre, à l'état subspontané dans des pays où il a été cultivé, ou bien où il l'est encore. M. Alph. de Candolle (1) cite un certain nombre de témoignages, qui prouvent que, dans les états autrichiens (Hongrie, Transylvanie, duché d'Autriche et Dalmatie), le seigle se propage hors des cultures dans les prés, dans les bois, les buissons et le long des chemins (2).

Ces faits lui inspirent les réflexions suivantes : « Puis-
» que le seigle ordinaire, plante qui, d'ailleurs, varie
» peu et qui est robuste, se répand si aisément hors des
» cultures dans cette contrée ; que, de plus, la culture du
» seigle était sortie de la Thrace, d'après les anciens,
» l'espèce ne serait-elle point aborigène de la région
» entre les Alpes et la mer Noire, spécialement de
» Hongrie, Dalmatie, Transylvanie ? et les pieds que les
» auteurs disent échappés des cultures ne seraient-ils

(1) Alph. de Candolle, *Ibidem*, T. 2, p. 938.

(2) Delort, dont on connaît l'exactitude, m'a adressé de Narbonne des échantillons de seigle avec cette indication : « spontané dans les champs, les prés, au bord des chemins. » Il serait intéressant de s'assurer si, sur d'autres points de la région méditerranéenne, on constaterait aussi sa propagation, à l'état subspontané.

» cultivés et sauvages ne seraient-ils pas une descendance
» croisée des pieds aborigènes? » (1)

Enfin, M. Alph. de Candolle fait observer que, d'après les recherches de Reynier, le mot *Secale* viendrait de *Secal*, nom celtique, ou, d'après de Théis, de *Segal*, dénomination indiquée dans le dictionnaire celto-breton de Legonidec (2). Je me demande, dès lors, si le seigle n'aurait pas été introduit dans nos régions occidentales par les Celtes, qui l'auraient rencontré, dans leurs migrations de l'Est à l'Ouest, peut-être en Thrace ou dans la vallée du Danube?

IV. LES AVOINES.

J'ai étudié spécialement l'*Avena sativa L.*. On ne connaît pas non plus la patrie de cette plante; mais, comme le seigle, elle est certainement originaire d'un climat tempéré, puisqu'elle vit aussi et se reproduit dans les moissons et dans les lieux stériles des diverses provinces de l'empire d'Autriche (3).

En Lorraine elle n'est pas naturalisée, mais elle se comporte, quant à sa floraison, comme les espèces sauvages de notre ancienne province.

Les épillets de la panicule sont dressés, tant qu'ils sont contenus dans l'intérieur de la gaîne foliaire; mais en en sortant, ils basculent et sont pendants. Toutefois, les pédicelles devenant peu à peu plus rigides, les épillets se relèvent un peu, prennent une position oblique

(1) Alph. de Candolle, *Géographie botanique raisonnée*, T. 2, p. 938.

(2) Alph. de Candolle, *Ibidem*, T. 2, p. 937.

(3) Alph. de Candolle, *Ibidem*, T. 2, p. 940.

et tendent bientôt à se rapprocher de la position horizontale, leurs faces restant un peu obliques par rapport à l'axe qui les porte et qui semble être légèrement tordu sur lui-même. Bientôt les deux fleurs que contient l'épillet, en s'ouvrant simultanément, étalent largement leurs glumelles externes, les deux glumelles internes restant accolées dos à dos.

La floraison a lieu assez abondamment et la disposition de la panicule très-étalée est telle que plusieurs épillets fleuris sont ordinairement étagés les uns au-dessus des autres.

Dès que la fleur est ouverte, ses étamines, par l'allongement rapide de leurs filets, sortent au dehors; leurs anthères, encore entières, deviennent pendantes bien au-dessous des stigmates de leur propre fleur, puis ne tardent pas à répandre leur pollen. En même temps que les anthères sortent, les stigmates étalent largement leur panache en dehors et se trouvent ainsi, surtout celui qui correspond à la face supérieure de l'épillet, exposés à recevoir le pollen qui tombe des fleurs placées plus haut. Les stigmates imprégnés ne tardent pas à rentrer dans la cavité de la fleur et à se pelotoner. Les glumelles se rapprochent; l'inférieure s'enroule étroitement sur les autres organes de la fleur et devient indurée.

C'est de deux à quatre heures du soir, c'est à dire au moment de la plus grande chaleur du jour, qu'ont lieu les phénomènes de la floraison dans cette céréale.

On peut tirer des faits établis dans ce second chapitre les conclusions suivantes:

1° Les céréales cultivées le moins anciennement, le seigle et les avoines, ne diffèrent pas des Graminées sauvages dans leur mode de floraison, et ce sont celles qui paraissent originaires d'un pays tempéré.

2° Le blé et les orges, au contraire, qui ont été cultivés de temps immémorial et qui paraissent originaires d'une latitude plus chaude, ont, suivant les espèces, modifié plus ou moins leur mode de floraison et les procédés par lesquels le pollen arrive sur les stigmates, pour s'accommoder aux influences climatériques variables de nos contrées, de façon à rendre encore leur culture rémunératrice, quoique moins productive.

CHAPITRE III.

DE LA FLORAISON DES ÆGILOPS ET DES CIRCONSTANCES QUI FAVORISENT LEUR FÉCONDATION PAR LE POLLEN DU BLÉ.

Ægilops ovata L. — Cette plante est répandue à profusion dans toute la région méditerranéenne, d'où elle s'étend, ainsi que la suivante, jusqu'en Crimée et dans les provinces Caucasiennes (1); elle s'est répandue, en outre, dans la vallée du Rhône jusqu'à Lyon et de la Durance jusqu'à la hauteur de Gap; elle n'est pas rare non plus dans la vallée de la Garonne, d'où elle a gagné la Charente-Inférieure; elle forme enfin de petites colonies dans la Vienne, les Deux-Sèvres et dans Loir-et-Cher. Je la croyais, toutefois, parfaitement naturalisée sous le climat de Nancy, puisque, à la fin de l'été, ses épis se détachent du chaume, tombent sur le sol, s'y enterrent par un mécanisme que j'ai fait connaître (2) et ses graines, emprisonnées dans leurs enveloppes, germent à la première pluie, absolument comme dans

(1) Ledebour, *Flora rossica*, Stuttgartiæ, in-8°, T. 4, (1853), p. 327.

(2) Godron, *Histoire des Ægilops hybrides*, dans les *Mémoires de l'Académie de Stanislas pour* 1869, p. 176.

son pays natal. Elle a persisté, sans culture, pendant quinze années, au jardin botanique de Nancy et dans mon jardin particulier; mais elle a complètement péri, pendant l'hiver de 1870-1871, tuée par une température de 20° au-dessous de zéro, alors qu'elle n'était pas abritée par un manteau de neige.

L'hybridité, résultant de la fécondation des *Ægilops* par le pollen du blé, est un fait jusqu'ici complètement exceptionnel dans la famille des Graminées et d'autant plus inattendu, que presque tous les botanistes considèrent les *Ægilops* et les *Triticum* comme constituant deux genres distincts. Il n'en est que plus intéressant de rechercher les conditions qui rendent possible et expliquent une semblable anomalie.

Cette plante fleurit pendant plus d'un mois, à raison des chaumes latéraux qui se développent successivement et dont les épis arrivent à floraison les uns après les autres par ordre de primogéniture.

La floraison de cette Graminée exige une température un peu plus élevée que celle du blé; elle ne devient abondante qu'autant que le thermomètre marque, au moins, 20° à 21°, les autres conditions météorologiques étant également favorables. C'est habituellement vers 9 heures 1/2 ou 10 h. du matin qu'on l'observe dans toute son activité et on assiste à la succession des phénomènes que nous allons décrire. Les glumes renflées s'étalent d'abord et permettent ainsi aux glumelles de s'écarter l'une de l'autre de 2 à 3 millimètres vers leur sommet. Mais ces mouvements des enveloppes, qui entourent la fleur, ne se font pas aussi brusquement que dans le blé. On distingue dans l'entrebaillement des glumelles le sommet des anthères dressées; elles restent quelque temps stationnaires, puis sortent rapidement par l'allongement

de leur filet; je les ai vues souvent basculer sous mes yeux, devenir pendantes et j'ai constaté qu'elles étaient encore parfaitement closes. Mais elles ne tardent guère à s'ouvrir dans toute leur longueur et à répandre leur pollen au dehors.

En les enlevant avec les précautions que j'ai indiquées, pour faire la même opération sur les anthères pendantes du blé, j'ai pu m'assurer facilement que les stigmates étalés dans la cavité de la fleur étaient presque toujours vierges, lorsqu'ils n'avaient pas été exposés à recevoir le pollen d'une fleur placée plus haut. Mais si la floraison est active, et elle l'est toujours dans les conditions que nous avons indiquées, plusieurs fleurs d'un même épi et de même rang sur chaque épillet s'ouvrent successivement ou simultanément ainsi que la fleur supérieure mâle; la fécondation croisée de fleur à fleur dans le même épi peut avoir lieu, et peut aussi s'opérer par le pollen émané d'un ou de plusieurs autres épis placés au-dessus, ce qui est fréquent, parce que les chaumes nombreux d'un pied d'*Ægilops* s'étalent et se croisent avec ceux des pieds voisins; car cette plante est sociale et, là où elle envahit le sol, elle l'occupe bientôt complétement, s'y perpétue et, si le soc de la charrue ne vient pas l'en expulser, elle forme, chaque année, un tapis hérissé d'épis rapprochés et superposés. Lorsque les stigmates ont été saupoudrés de pollen, les glumelles et les glumes ne tardent pas à se rapprocher et la fleur se ferme. La fécondation croisée est donc, chez l'*Ægilops ovata L.* le fait général.

Mais il arrive aussi, je l'ai constaté sur quelques fleurs, que l'imprégnation des stigmates peut être directe, si les anthères s'élèvent plus lentement au-dessus de la fleur ou tardent à basculer; elles s'ouvrent à leur sommet

avant de s'incliner et versent du pollen dans leur propre fleur.

Si la température ne dépasse pas 17° à 18°, la floraison est moins active et moins abondante; la fécondation croisée ne s'opère plus d'une manière aussi certaine, et il peut arriver que quelques fleurs, après s'être débarrassées de leurs anthères, ne reçoivent pas de pollen des fleurs voisines et alors elles restent ouvertes jusqu'à la floraison du lendemain. Ce fait, qu'il est facile de constater par l'ouverture persistante des fleurs, est fort important, comme nous le verrons, relativement aux fécondations hybrides.

Si la température est, pendant toute la matinée, inférieure à 17°, ou si la pluie vient humecter les épis, les fleurs ne s'entrouvrent pas et la floraison est suspendue ce jour-là.

Ægilops triaristata Req. — Cette espèce est aussi originaire du bassin méditerranéen, mais elle y est moins répandue que la précédente. Elle résiste beaucoup mieux au froid de nos hivers, et pendant celui de 1870-1871 et dans les mêmes conditions, elle a continué à vivre et à se propager sans culture dans le lieu où elle a été primitivement semée.

Sa floraison présente l'analogie la plus étroite avec celle de l'*Ægilops ovata* et montre les mêmes phénomènes sous l'action des mêmes causes. L'épi compte un épillet de plus. Les anthères sont plus grandes et renferment plus de pollen.

Les *Ægilops ventricosa Tausch., triuncialis L., caudata L.* et *speltoides Tausch*, ont un nombre d'épillets plus grand à chaque épi et leurs chaumes sont dressés, ce qui rend plus facile la fécondation croisée de fleur à fleur dans la même inflorescence et j'y ai vu extrêmement

peu de fleurs restées onvertes après la floraison. Ces espèces fleurissent aux mêmes heures que les *Ægilops ovata L.* et *triaristata Req.*

Hybrides d'Ægilops. — Nous avons beaucoup insisté, dans notre second chapitre, sur la floraison du blé, sur les phénomènes qu'elle présente, sur les conditions qui la favorisent et sur celles qui la retardent. Nous venons d'indiquer ce qui se passe comparativement dans la floraison des *Ægilops*. Il est un fait qui frappe tout d'abord l'attention, c'est que les *Ægilops* fleurissent dans la matinée, deux ou trois heures après le blé, et il semblerait que cette circonstance doive mettre un obstacle à la fécondation des *Ægilops* par les *Triticum*. Mais nous savons que, dans l'*Ægilops ovata L.*, il n'est pas absolument rare qu'une fleur ouverte échappe tout d'abord à la fécondation. Mais, comme elle reste ouverte jusqu'au lendemain, la floraison relativement tardive des plantes de ce genre devient une condition des plus favorables à la fécondation des fleurs d'*Ægilops* restées ouvertes, par le pollen si abondant que le blé répand autour de lui.

Ces circonstances nous donnent, en outre, la raison d'un fait qui, au premier abord, m'a beaucoup étonné, c'est que ces hybrides se sont montrés en plus grande proportion, au jardin des plantes de Nancy, que sur le bord des champs de blé de la région méditerranéenne. M. Durieu de Maisonneuve l'a cherché longtemps en vain en Algérie, où l'*Ægilops ovata* est répandu sur d'immenses espaces, et dans ses nombreuses explorations, il ne l'a rencontré qu'une seule fois sur le bord des champs de froment que cultive *en abondance* la tribu des Ouled-Zeir, au sud-ouest d'Oran. Aux environs de Nîmes, de Montpellier, d'Agde et de Béziers, je ne l'ai rencontré que çà et là et toujours en un petit nombre de pieds, dans

le voisinage du froment. Dans mes petits champs d'*Ægilops* du jardin des plantes de Nancy, qui occupent ensemble une surface de six mètres carrés, rapprochés de petits champs de blé à peu près d'une même étendue, j'ai vu tous les ans, au moins quatre ou cinq pieds de cette plante hybride développée spontanément et, dans certaines années, au vu et au su des auditeurs de mon cours, il s'en est produit dix, quinze et même une fois vingt-cinq pieds, qui, presque tous, ont fourni chacun un plus ou moins grand nombre de chaumes. Il faut attribuer cette plus-value à la température variable, quelquefois trop modérée, et aussi à l'humidité qui rendent la floraison moins active et surtout moins abondante, d'où il résulte, comme nous l'avons vu, qu'une proportion un peu plus notable de fleurs échappent à la fécondation immédiate et attendent, pour être fécondées, la floraison du lendemain. Dans les campagnes du midi de la France et de l'Algérie, à l'époque de la floraison des *Ægilops*, la température est plus uniforme, plus élevée et les pluies manquent complètement. Sous ces influences favorables, la floraison et, par suite, la fécondation de ces plantes par leur pollen propre doivent être plus régulières.

Nous ne pouvons nous dispenser d'étudier aussi la floraison de ces hybrides de première et de seconde fécondation.

Les *Ægilops triticoides Req.*, qu'ils aient pour mère l'*Ægilops ovata L.* ou l'*Ægilops triaristata Req.*, se comportent d'une manière uniforme. Les glumes s'ouvrent et les glumelles s'écartent l'une de l'autre un peu plus que dans l'espèce mère et laissent voir les anthères dressées, grêles et dépourvues de pollen; les stigmates étalent leur panache dans l'intérieur de la fleur; mais les anthères ne sortent pas ou presque jamais. Les fleurs restent ainsi

entrouvertes pendant deux ou trois jours, jusqu'à ce que leurs anthères impuissantes et leurs stigmates soient flétris. Il semblerait qu'elles attendent patiemment ce qui peut seul donner la vie à leur ovule. On comprend que, dans ces conditions, une nouvelle fécondation par le blé soit bien plus facile encore que la première. Si, au lieu de laisser ce phénomène s'accomplir spontanément, l'expérimentateur y verse lui-même une petite quantité de pollen, les fleurs ne tardent pas à se refermer, comme je l'ai vu plusieurs fois.

Dans l'*Ægilops speltæformis* d'Esprit Fabre, et dans celui que j'ai fabriqué à Nancy par une double fécondation artificielle des *Ægilops ovata L.* et *triticoides Req.* par le blé d'Agde barbu, la floraison s'opère comme dans le blé et les anthères s'ouvrent ordinairement un peu au sommet avant de basculer On sait que cette forme hybride est fertile.

L'*Ægilops speltæformis*, stérile par lui-même, ouvre néanmoins ses fleurs et aussi largement que le blé; ses anthères sont totalement dépourvues de pollen et par conséquent impuissantes. Cette situation se prolonge pendant deux ou trois jours, à moins que du blé en fleurs dans le voisinage ne projette, avec l'aide du vent, son pollen sur les stigmates de cet *Ægilops*, ce qui entraîne bientôt le rapprochement des glumelles et l'occlusion de la fleur. La fécondation est alors très-facile et j'en ai obtenu, surtout dans certaines années, un assez grand nombre de graines (1). Sans cette nouvelle fécondation, la plante reste absolument stérile, comme je l'ai observé, en 1870, au jardin des plantes de Nancy, où je

(1) Godron, *Histoire des Ægilops hybrides*, dans les *Mémoires de l'Académie de Stanislas pour* 1869, p. 211 à 218.

n'ai pas semé de blé dans son voisinage. Les nombreux pieds que j'ai obtenus, cette année-là, ne m'ont pas fourni une seule graine et, cependant, ils appartenaient à la sixième génération. Ils n'étaient donc pas devenus plus fertiles après six fécondations successives par le blé, qui se sont produites pendant un nombre égal d'années.

Les *Ægilops ovata L.* et *triaristata Req.*, vivant pêle-mêle dans la région méditerranéenne et même aussi avec l'*Ægilops triuncialis L.*, on se demande s'ils ne se fécondent pas réciproquement. Les conditions dans lesquelles s'opère la floraison de ces espèces, qui entrelacent leurs chaumes et rapprochent leurs épis et la concordance qui existe, ou à peu près, dans l'époque de la floraison, doivent permettre au pollen de l'une de se répandre sur les stigmates de l'autre et sembleraient favorables pour déterminer une véritable promiscuité. L'expérience ne l'a pas confirmé et, à cette question, elle a répondu jusqu'ici d'une manière négative. Pépin (1) assure avoir cultivé, pendant dix huit années, les *Ægilops ovata L.*, *triuncialis L.*, et *squarrosa L.* à côté les uns des autres, sans qu'il ait jamais vu aucune variation s'opérer dans ces espèces. M. Duval-Jouve a parcouru, en juin 1869, la Crau d'Arles, alors presque entièrement couverte des *Ægilops ovata L.*, *triaristata Req.* et *triuncialis L.* vivant les uns au milieu des autres. Il s'est occupé, ainsi que ses compagnons d'herborisation, de rechercher avec soin, s'il n'existait aucun hybride entre ces espèces. « Je me » croyais sûr d'en rencontrer, dit ce savant botaniste. » Eh bien ! quoique nous fussions trois à consacrer, » pendant une quinzaine, au moins six heures par jour

(1) Pépin dans Loiseleur-Deslongchamps, *Considérations sur les céréales*, etc., Paris, 1842, in-8°, 1re part., p. 46.

» à cette recherche, nous n'avons rien trouvé. Je veux » dire par là que nous n'avons trouvé aucune forme qui » nous permît d'y voir un hybride entre *Ægilops* (1). »

Depuis six ans, les *Ægilops ovata L.* et *triaristata Req.* vivent en société dans mes petits champs d'*Ægilops* du jardin des plantes de Nancy et de mon jardin particulier, sans qu'il y ait eu croisement entre ces espèces. Cependant, dans les plaines de la Crau, comme dans mes cultures, ces deux plantes sont parfaitement mélangées et l'*Ægilops triaristata Req.*, dominant par sa taille son congénère, peut répandre facilement son pollen plus abondant sur les fleurs ouvertes de celui-ci, spécialement sur celles, en très-petit nombre du reste, comme nous l'avons vu, qui n'ont pas reçu immédiatement la poussière fécondante de leur propre espèce et restent vierges jusqu'au lendemain. Si, dans des circonstances aussi favorables, l'hybridation ne se produit pas, il faut en conclure que ces deux plantes sont des espèces parfaitement légitimes et que l'*Ægilops triaristata Req.* n'est pas une simple variété de l'*Ægilops ovata L.* (2). Mais il y a plus : en 1870, j'ai tenté de féconder artificiellement

(1) Duval-Jouve, dans le *Bulletin de la Société botanique de France*, T. 16 (1869), p. 381.

(2) Cependant, M. Cosson, dans son beau *Rapport sur un voyage botanique en Algérie, de Philippeville à Biskra et dans les monts Aurès, entrepris en 1853* (*Annales des sciences naturelles, sér.* 4, T. 4) indique plusieurs fois l'*Ægilops triaristata Req.* comme variété de l'*Ægilops ovata.* Outre les caractères distinctifs de ces deux espèces, que nous avons indiqués dans notre *Flore de France*, T. 3, p. 602, j'en ajouterai un qui, je crois, n'a été indiqué par personne, c'est que les épis d'*Ægilops triaristata Req.* prennent, à la fin de l'été et avant de se détacher du chaume, une teinte noirâtre et que cette coloration se produit aussi dans les hybrides qu'il forme avec le froment.

l'*Ægilops ovata L.* par le pollen de l'*Ægilops triaristata Req.* et réciproquement; je n'ai pas réussi. J'ai recommencé cette double opération, en 1871, et je n'ai pas été plus heureux dans ce second essai. Enfin, en 1872, j'ai réitéré la même tentative entre ces deux espèces et j'ai fait, en outre, intervenir dans le croisement l'*Ægilops ventricosa Tausch;* mais je n'en connaîtrai le résultat qu'en 1873. Et cependant, deux de ces espèces se laissent si facilement féconder par le blé ! C'est là une de ces » bizarreries qui, suivant M. Duchartre (1), ne s'expli- » quent par aucun des caractères extérieurs des plantes » et qui ne peuvent tenir qu'à des détails de leur orga- » nisation intime. »

(1) Duchartre, *Eléments de botanique*, Paris, 1866, in-8°, p. 614.



OBSERVATIONS

SUR L'APPARITION SPONTANÉE ET LE SEMIS RÉPÉTÉ

DU *STEMONITIS OBLONGA* FRIES,

PAR

Mr Casimir ROUMEGUÈRE,

Membre correspondant de la Société.

Une expérience due au hazard m'a permis d'avancer, dans une note récente soumise par moi au jugement de la Société botanique de France, qu'une mixtion encore fraîche composée d'huile de lin, de céruse et de térébenthine broyés ensemble pouvait faciliter le développement presque à volonté des Mixogastrées.

Voici ce qui occasionna ma première observation. On avait oublié dans les premiers jours de décembre dernier, dans un appartement en réparation chez moi, un vase de peinture à l'huile avec son pinceau qui demeura à une demi obscurité sur une étagère de cuisine. On descendit ce vase le 3 janvier, et je fus très-étonné de voir la croûte formée par l'huile qui avait surnagé et la partie du pinceau la plus voisine du manche surchargées d'une élégante funginée en pleine fructification. Je reconnus le *Stemonitis oblonga* Fries, mixogastrée propre au Nord

et au centre de l'Europe et qui n'avait jamais été observée à Toulouse.

L'idée me vint aussitôt de projeter les spores de ce champignon sur une planche de bois de sapin humide et que je recouvris préalablement d'une couche de peinture tirée du vase *générateur*. Après dix jours d'attente et bien que j'eusse très-peu de confiance dans ma tentative de culture, la planche de sapin qui n'était pas sortie de mon cabinet, se montra couverte d'une pépinière de *Stemonitis* semblables à ceux du vase de peinture. J'envoyai *mes élèves* avec une note détaillée de mon essai réussi à mes confrères de la Société de Botanique de France. Cet ensemencement offrait ceci d'intéressant: Le stroma excessivement fugace et que les échantillons d'herbier ne conservent pas longtemps (Je parle du moins de ceux que je possède, notamment des *Fungi Europ.* de Rabenhorst et des *Cryptog. Baden* de MM. Jack, Leiner et Stizenberger), était complet et d'autant mieux défini dans son entier contour qu'il s'était appliqué sur la surface unie et peinte en blanc comme le font sur le papier les algues de nos collections. J'observai que les peridium au nombre de 9-11 sur chaque stroma d'un centimètre de diamètre environ, naissaient isolément sur la marge de ce stroma dont ils jalonnaient pour ainsi dire la circonférence.

Encouragé par cet essai, je l'ai répété à l'aide des spores que j'ai obtenues, sur une planchette de sapin du Nord, enduite en partie de peinture semblable à celle du premier essai et imbibée d'eau. Cette opération exécutée le 19 janvier dernier, a complétement réussi. J'indique ci-après les observations attentives que j'ai faites quant au développement du champignon semé et au temps nécessité pour le passage d'une forme à l'autre.

Ces degrés de développement sont au nombre de sept et remplissent un espace de 52 heures. Le premier ensemencement avait exigé 14 heures seulement pour l'apparition et le développement complet du champignon. Bien que l'espèce dont il est question soit hivernale, je suppose que la première culture a été accélérée par l'élévation de la température dans mon appartement, qui était alors de 18 à 20 degrés centigrades, tandis que le 19 janvier, elle a été inférieure de 4 degrés au moins.

31 Janvier, huit heures du matin. Apparition de peridium sphériques de 1 millimètre de hauteur, hyalins, isolés par groupes de 8 à 9 individus, base enchassée dans le bois. Stroma inapparent. Port d'un *Trichia* sessile.

Midi. Peridium pyriformes, 2 millim. de hauteur, encore sessiles et hyalins, brillants, répandant à la piqûre d'une aiguille une matière blanchâtre, épaisse, de saveur amère, offrant au microscope un amas de fines ponctuations pressées les unes contre les autres, mais encore peu distinctes à cause de l'opacité de la matière; grossiss. 360 diam.

6 h. du soir. Peridium obovales, de couleur jaunâtre, rosés à la base, montrant le commencement d'un stipe également rosé, transparent et fistuleux. (Ce stipe n'est encore que le prolongement du peridium, la matière va être absorbée par ce dernier organe pour faire place au stipe vrai).

1er février, 8 heures du matin. La forme précédente du peridium est modifiée par un renflement à la partie supérieure (une tête de clou élargie en bosse). Le stipe vrai apparaît, il mesure 4 millimètres de hauteur, il est coloré en brun et se voit très-distinctement à travers la moitié du peridium qui est encore transparent et à surface luisante.

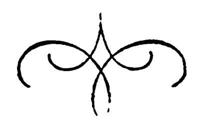
Midi. Le peridium a pris une forme exactement ovale (diminution en hauteur et augmentation en diamètre). Il est coloré en violet; il a perdu sa transparence; il incline sur le stipe, la planche de semis est exposée à une vive lumière; à la lumière voilée, celle du centre de mon appartement, les peridium n'ont pas cessé d'être érigés. Le stipe mesure 6-8 millimètres. Il est solide, flexible et noirâtre. Le stroma qui n'offrait jusqu'à ce moment que des filaments rares et écourtés de couleur vinacée, gagne en cohésion et semble former déjà un corps défini, si l'on en juge par la nuance brillante qui l'indique encore plus que la couleur assez pâle, sur le support qui est de couleur mate. La formation cellulaire du peridium est plus vivement colorée et épaissie; on distingue sous les verres amplifiants, une masse compacte de fines granulations pressées ensemble et, çà et là, des brins de filaments tordus en crochet. La paroi du peridium ne participe pas à la couleur du contenu, elle est blanchâtre, unie et brillante.

Six heures du soir. Le stipe a atteint brusquement près de 2 centimètres de hauteur, la couleur des peridium est plus foncée, la forme est définitivement cylindrique. Tous sont érigés. Le stipe est un peu plus fort à la base qu'au sommet qui est finement aigu, et surmonté d'une petite gibbosité ou lance épatée, qui tombe au moindre effort. Les peridium offrent au toucher de l'aiguille, une certaine résistance qui contraste avec la mollesse des peridium de la veille, c'est l'état de complet développement. La nuance brillante de la surface de l'appareil reproducteur a fait place à une coloration mate.

2 *février, midi.* Quelques peridium sont rompus, les spores s'en échappent. Vu à la loupe, le capillitium

offre l'aspect d'une énorme grappe de raisin. Les spores en nombre incalculable laissent à peine voir les filaments dont leur masse est enchevêtrée; elles sont rondes, obscures, et ne semblent pas contenir de nucleus primitif. (Mes recherches sur ce point à un grossissement de 500 diamètres ont été inutiles).

Je tire les conclusions suivantes du 1er et du 2e ensemencement : 1° que les spores du *Stemonitis* ne paraissent pas avoir besoin pour germer d'une période de repos, qu'elles doivent être mûres au moment où elles s'échappent du capillitium et que le laps de temps de 10 et de 11 jours peut s'entendre (malgré l'activité du développement de l'espèce observée), comme une germination à l'état frais par opposition à d'autres spores de champignons qui continuent de mûrir après s'être isolées et ont besoin de plusieurs mois pour germer; 2° que la germination des spores et le développement des *Stemonitis* est indépendant de la lumière.



DESCRIPTION ET USAGE

D'UN PENDULE A TRÈS-LONGUE PÉRIODE

POUR LA MESURE DU ROULIS ABSOLU.

Extrait d'une lettre de Mr W. FROUDE à Mr BERTIN.

My dear Sir,

...... I have succeeded in obtaining three most excellent trials at sea, with the two ships, which, as I think I informed you, the Admiralty has devoted to the experiment: — and, with greatly improved apparatus, in each of the ships, we obtained a continuous record of the rolling for an hour without intermission, the two ships being kept very near to each other, in order that the waves to which they were exposed should be as nearly as possible the same. The two ships were very nearly alike in size and in form (1.100 english tons), but one of them had lateral keels, one on each side.

They were each taken in tow by a powerful « tug steamer ». But during the trial, the tow-rope was not permitted to be more tightly strained than was necessary in order to keep the ships broadside to the waves. — The ships were without masts: but sufficient iron ballast was placed on the upper deck of each to represent approximatively the dynamic effect of the masts, so that the « period» of oscillation in calm water was nearly what it would have been if they had been « ready for sea », namely 8'': that is to say 4'' for a single movement from starboard to port or from port to starboard.

Both ships had been made to roll in calm water previously, and the resistance of the water had been thus determined for each ship in the manner which you, as well as I, have pursued.

In both of the ships, while rolling among the waves, the absolute angle was recorded by an observer who continually pointed a bar at the horizon in the manner which, you and I have both adopted. In one of them it was also recorded by the automatic method which I think I have described to you, and which is also described by M. Reed in the article of which I send you a copy.

I will here only mention that it consists of a heavy « fly wheel » or wheel of great moment of inertia, very delicately suspended, so that it can revolve almost without any resistance by friction. It is nearly of 1 mètre in diameter, and 100 Kg. in weight; it possesses a long axle of steel with hardened steel collars very tightly fitted on it at each end, $0^m,025$ in exterior diameter; and these hardened ends rest on hard steel segments which are parts of cir-

cles of 1^m in diameter, and which are supported on hard steel pivots of very small diameter; the axle, when in motion, rolls on these segments (1). The centre of gravity is about $0^m,00015$ below the centre of the axle, and therefore the wheel has a definite zero of position which it assumes with great exactitude, although $\frac{1}{250,000}$ part of the weight of the wheel, if placed at the circumference at the right or at the left of the fly wheel, will cause the circumference to move through a space $= 0^m,005$ (approximatively) and, (as I have said), it will do this with great exactness; that is to say, the error, if measured at the circumference, does not exceed $0^m,00005$.

If the circumference be moved to 90° from the zero of position, it will continue to oscillate for nearly 20 minutes, even with the horizontal rod (which governs the recording pen) in its working position, and with the pen tracing a line on the roll of paper. The period of the oscillation is about 70", that is to say for the complete oscillation forwards and backwards.

The pivots of the segments are fixed in a strong frame. All the parts are exactly balanced.

When the apparatus is placed in a ship transversely, the ship rolls under the wheel, without imparting rotation to it; and the horizontal rod continues in effect, to move the pen backwards and forwards on the roll of

(1) Un croquis de l'instrument, en quelques traits, était intercalé dans la lettre ainsi qu'une figure des courbes relevées en supposant le volant parfaitement fixe et une autre en lui supposant un léger mouvement d'oscillation propre.

paper, and records the « *absolute inclination* » ; — but if an accidental cause, for example a current of air, should impart some small rotation to the wheel, it will always endeavour to return to rest at its true zero, because the mean surface of the sea is horizontal, and the mean position of the ship is vertical : and the period of oscillation of the wheel is so long that the mean operation of the friction tends to restrain the motions of departure of the wheel from its true mean position, more than it restrains the motions of approach towards it.

If the wheel has, by any such cause, been a little disturbed, the record is not thereby vitiated — indeed it is not sensibly injured — because the « period » of the disturbance is so long that it does not become in any degree mixed with the motions of the ship : but the oscillations of the ship, instead of being refered to a straight axis or zero line, are recorded on both sides of a curved axis. We at first possess the « lines of oscillation » ; we then circumscribe the extremities of the curves of oscillation by fair flowing lines, making the opposite members of the curves as nearly symetrical as we can ; we then draw a series of verticals through the extremities of the several oscillations and bisect them. If we have performed the operation correctly, we shall find that the locus of the bisections will be generally straight, and, in the case we suppose, nearly a curve of sines (sinusoïd), the « period » of which is 70″.

But even in the former case we shall sometimes find deviations from exact straightness ; for example, if the ship has for a time been inclined by the force of the wind, and until we have separated this extraneous inclination

from the inclination which the oscillations present, and regard what remains as the true dynamic inclinations, we cannot correctly deduce from them the dynamic conditions by which the rolling is governed. In the latter case, we shall find ourselves equally obliged to select, and equally able to select, the true line as the zero of the oscillation.

I do not mean that absolutely no error thus introduces itself; but in effect, I do not believe that the error exceeds 0°,10 in any case in which the curves have been critically examined, excepting in one or two instances, in which it has been evident that a sudden motion has been impressed on the wheel by some casual external force. In these instances, the zero line, which we find ourselves seeking, presents manifestly a discontinuity of curvature which necessarily renders it of no value as a zero line at that particular part, because we are not able with even approximate exactness to measure the disturbance at that point, and this visible deformity warns us to disregard that part of the record. But if we omit these parts as exceptional, all the other parts of the record appear to be as good as can be desired; and by comparing it, throughout, with the pendulum record, we obtain an irreproachable measure of the inclination of the wave, continuously.

I have already mentioned that in the ship in which this automatic instrument was fixed, another pen at the same time was governed by an observer who constantly directed an index arm at the horizon in the same manner as you also operated, so that thus two records of the absolute angle were produced on the same paper in that ship, and these were carefully compared. For the most part, the agreement is admirable; but occasion-

nally when the inclinations were the greatest, the difference was as much as 1°. The automatic record always gave the smaller angles; and it is easy to see that this is almost a necessary consequence of the mode of observation,— because the observer cannot anticipate with exactness the change of motion which the wave is preparing to impress on the ship, and is therefore too slow in accompanying it....

W^am FROUDE.

Chelston Cross, Torquay, December, 22th, 1872.



DONNÉES

THÉORIQUES ET EXPÉRIMENTALES

SUR

LES VAGUES ET LE ROULIS

PAR

M[r] BERTIN,

Ingénieur de la Marine, Docteur en Droit.

SOMMAIRE

I.

NOTICE HISTORIQUE SUR LES DONNÉES MATHÉMATIQUES DE L'ARCHITECTURE NAVALE.

II.

DES VAGUES QUAND LA MER EST D'UNE PROFONDEUR ET D'UNE ÉTENDUE INFINIES.

III.

DE L'EFFET DU FOND ET DU RIVAGE SUR LE MOUVEMENT DES VAGUES.

IV.

DU MOUVEMENT DES CORPS FLOTTANTS SUR LA HOULE, ET DE L'ÉQUATION DIFFÉRENTIELLE DU ROULIS.

V.

SUR L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DU ROULIS.

VI.

DU ROULIS DES NAVIRES COMPARÉ A CELUI DES PETITS FLOTTEURS.

TABLEAU

DES PRINCIPALES NOTATIONS, AUQUEL ON PEUT SE REPORTER POUR L'INTELLIGENCE DES FORMULES.

HOULE.

T — Demi-durée des vagues.
L — Demi-longueur id.
h — Demi-hauteur id.
r — Demi-hauteur des ondulations, ou rayon des orbites à une profondeur quelconque z.
U — Vitesse de propagation des vagues.
u — Vitesse absolue de l'eau dans son mouvement oscillatoire.
ϵ — Vitesse angulaire dans le mouvement absolu de l'eau.
Θ — Inclinaison des vagues au point d'inflexion.
θ — Inclinaison des couches horizontales sur l'horizon.
θ' — Inclinaison des couches verticales id.

ROULIS.

T_n — Durée du roulis des navires d'un bord sur l'autre.
e — Rapport de π à T_n.
φ — Roulis relatif, inclinaison à un instant quelconque.
Φ — Amplitude du roulis maximum d'un navire.
ρ, a, ρ-a — Distances entre le centre de carène C, le métacentre M, le centre de gravité G.
P — Déplacement d'un navire en T^x.
F — Poussée de l'eau par unité de volume de la carène.
l — Longueur des navires.
m — Largeur totale moyenne d'un bord sur l'autre des navires.
p — Tirant d'eau moyen.
$\mathcal{M}$ — Moment du couple de stabilité.
M — Moment des résistances passives.

M_1 — Moment pour une vitesse angulaire égale à 1.
M_a — Moment des résistances actives.
M_t — Moment total des résistances $M + M_a$
N — Coefficient de décroissance des roulis en eau calme.
J — Force d'inertie résultant du mouvement de translation.
J_c — Force d'inertie centrifuge dans le roulis
J_t — Force d'inertie tangentielle dans le roulis.

DONNÉES THÉORIQUES ET EXPÉRIMENTALES

SUR

LES VAGUES ET LE ROULIS

OBJET DU MÉMOIRE.

1. — Dans l'étude du roulis et des qualités nautiques des bâtiments de mer, la théorie ne peut fournir à elle seule les résultats pratiques nécessaires au constructeur; il faut avoir recours à des lois empiriques et à des recherches expérimentales. Dès lors, les progrès de la science doivent être assurés, moins par quelques recherches isolées, que par un concours général d'efforts dans lequel chacun viendrait apporter son lot de connaissances acquises : le travail le plus urgent et le plus utile n'est pas de discuter quelques points de doctrine plus ou moins spécieux, mais plutôt de compléter les connaissances fondamentales indispensables aux recherches individuelles.

Dans l'étude des vagues, base indispensable de celle du roulis, la part des recherches expérimentales n'est pas moindre ; mais la théorie reste nécessaire pour faciliter les observations et en compléter les résultats.

J'ai cherché à réunir dans cette note, comme dans une sorte de manuel, les principales données qui m'ont paru les plus propres à aider les observateurs ; le but

d'utilité pratique que j'ai poursuivi ressortira surtout des tableaux qui rendent plus claire la portée des formules algébriques et dispensent pour l'avenir de calculs parfois laborieux.

Je n'ai point reproduit l'analyse qui a fait l'objet des deux notes précédemment publiées dans le T. XV ; mais ce nouveau mémoire est assez complet pour suffire à ceux qui veulent bien accepter les résultats obtenus, sans en demander la démonstration mathématique (1).

I

NOTICE HISTORIQUE SUR LES DONNÉES MATHÉMATIQUES DE L'ARCHITECTURE NAVALE.

2. — L'histoire des recherches mathématiques sur l'Architecture navale peut introduire quelque lumière dans les discussions actuelles, en montrant l'origine première de controverses non encore tranchées; elle fait connaître la source de plusieurs erreurs qui ont cours aujourd'hui, et dont leurs auteurs débarrasseraient la science si, vivant avec nous, ils possédaient les données nouvelles qui leur ont manqué dans leur temps.

Une analyse sommaire des travaux publiés au siècle dernier est d'autant plus intéressante qu'elle embrasse une période de recherches particulièrement actives sur les-

(1) Je n'aurai guère à renvoyer du reste qu'au *Complément à l'étude sur la houle et le roulis*, particulièrement aux nos 1-8. Les questions abordées dans l'*Etude* elle-même, de même que celles qui font l'objet de mes *Notes sur la théorie et l'observation de la houle et du roulis*, se trouvent reprises soit dans le *Complément*, soit dans ce nouveau mémoire. (Voir Mémoires de la Société des Sciences naturelles de Cherbourg, t. XV.)

quelles nous avons vécu pendant soixante ans d'inaction relative (1). Cette époque est assez éloignée, d'ailleurs, pour que l'on puisse en aborder l'histoire, et la tâche est d'autant plus facile que les grands travaux d'alors embrassent une branche de la science nettement délimitée : la *Mécanique du navire* est fondée, la *Mécanique des vagues* reste à créer.

Les travaux récents, au contraire, appartiennent encore à la discussion : nous nous retrouvons à un moment d'investigations fécondes dont on n'a pas encore le résultat définitif ; il serait téméraire de vouloir y marquer d'avance la part de chacun. En France les recherches théoriques nouvelles se rattachent surtout au cours professé par M. Reech (2). En Angleterre, où le mouvement scientifique est dirigé davantage vers les sciences nautiques, M. Airy a donné, en 1835, les équations approchées qui restent généralement admises pour formuler le mouvement des vagues dans une eau peu profonde (3). M. Macquorn Rankine retrouvant en 1862, sans les connaître, les équations de Gerstner laissées jusque-là sans application,

(1) Réserve faite toutefois des perfectionnements apportés à la Mécanique du navire, par Ch. Dupin, dans les *Applications de géométrie et de mécanique à la Marine, etc.*, premier Mémoire « *De la stabilité des corps flottants* » : il faut tenir compte aussi du chapitre de la Mécanique de Poisson sur le mouvement des pendules dans un milieu résistant.

(2) Le cours de M. Reech, resté inédit pendant une vingtaine d'années, a été autographié en 1870 dans le Mémorial du Génie Maritime ; il avait peu varié depuis 1854. Voir aussi divers écrits de M. l'ingénieur Brun, de M. le c.-amiral Krantz, de M. le capitaine de vaisseau Mottez.

(3) *Tides and waves*, *Encyclopedia metropolitana*, T. V, Londres, 1835. Voir aussi les travaux de M. Stokes dans les *Transactions of the Cambridge philosophical Society*, 1842 et 1850.

les a fait entrer dans le domaine de la science appliquée (1). Sur ces nouvelles bases, M. Froude, M. Rankine et d'autres auteurs ont repris l'étude du roulis et porté l'analyse mathématique sur des points tout nouveaux de la question. Un grand malheur maritime, dont le danger avait été d'avance signalé par la prévoyance de M. Reed, est venu apporter un stimulant énergique à ces recherches : il a montré combien est étroite la route dans laquelle le constructeur doit se tenir (2).

Nous arrêterons notre notice historique au commencement du siècle.

3. — L'art de représenter géométriquement les courbures compliquées de la carène, suivant les procédés

(1) *On the exact form of waves near the surface of deep water.* — Soc. royale de Londres, 27 Sept., 27 Nov. 1872.

(2) Parmi les ouvrages déjà anciens, on peut citer, en Angleterre, les notes sur Chapmann du Dr Inmann, plus récemment les *Papers on naval architecture de* MM. Morgan et Creuze, 1827 ; le *Treatise of theory and practice of naval architecture* de Creuze, 1848 ; un petit traité de Lord Robert Montaigu, 1852 ; le Mémoire de M. Canon Moseley : *On the dynamical stability of vessels,* Trans. R. Soc., 1851. Le mémoire du Rév. J. Woolley *On the present state of the mathem. theory of naval arch.*, Trans. nav. arch., t. I, se rattache plutôt à l'ancienne école qu'à la nouvelle doctrine qui coïncide avec la création de l'*Institution of naval architects.*

Les travaux de M. Froude sont jusqu'ici les suivants ; *On the rolling of ships,* 1861. — *Remarks on the rolling of ships,* 1862.— *On isochronism of oscillation of ships,* 1863.— *Practical limits of the rolling,* 1865. — *On the influence of the resistance upon the rolling,* 1872. Ils ont été l'occasion de remarques de M. J. Crossland et surtout de communications très-intéressantes de M. Scott Russell à l'*Institution of naval architects.*

La théorie du roulis doit aussi beaucoup M. Macq. Rankine

généraux de la descriptive, et de relever sur une épure les gabarits et les équerrages, devait précéder celui de déduire de ce tracé la valeur du déplacement et l'indication précise de certaines qualités du navire. En France, les méthodes de dessin, jusque-là variables, furent fixées d'une manière définitive vers la fin du XVII[e] siècle, par les travaux du Chev. Renau; les lignes d'eau, les coupes longitudinales et surtout les couples superposés en une figure unique, au lieu d'être tracés séparément, constituèrent les trois projections du navire. Le constructeur déterminait les formes et les dimensions d'après des règles empiriques transmises par la tradition et suffisantes à une époque où les types se modifiaient avec lenteur : il n'y a pas de cause scientifique à ces efforts tentés pour composer à l'aide d'arcs de cercles et de sections coniques, les couples et les lignes d'eau, dont il est déjà question dans l'ancien traité du P. Fournier (1).

Le calcul du déplacement eut quelque peine à se faire admettre dans la pratique des chantiers. Au milieu du XVIII[e] siècle, Duhamel du Monceau rapporte que ce calcul n'est pas encore d'un usage général, mais que les bons constructeurs ne l'omettent jamais (2): Jean Ber_

dont la science regrette en ce moment la perte prématurée; on peut citer en particulier le chap. IV, p. 62-77 du *Shipbuilding* et les mémoires sur la *Keel resistance* et sur l'isochronisme et la dureté du roulis publiés dans les *Trans. of nav. arch.*

Les travaux de M. Scott Russell, ceux de M. Merrifield et ceux de M. Reed, soit dans l'ouvrage *Our Ironclads*, soit dans les *Trans. of nav. arch.*, soit surtout dans son intéressante revue, *Naval science*, ne sauraient être énumérés dans une simple note.

(1) *Hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la navigation*, par le P. Georges Fournier, Paris, 1667.

(2) *Eléments d'Architecture navale, etc.*, 2[e] éd., Paris, 1758, p. 340.

noulli, curieux d'avoir le poids des navires, demandait dans sa correspondance avec Euler, s'il ne serait pas possible, connaissant la surface de flottaison des navires, de chercher leur poids en les soulevant ou en les immergeant parallélement à eux-mêmes, et en observant la durée des oscillations qu'ils exécuteraient ensuite verticalement, une fois abandonnés à leur mouvement (1). La recherche du centre de carène était encore plus délaissée, et Bouguer proposa, comme une innovation utile, de déterminer par expérience la position de ce point, en suspendant à un fil, dans deux positions différentes, un petit modèle de la carène construit en bois bien homogène (2). Cette absence de données numériques rendit plus ardue la tâche de ceux qui étudièrent les premiers les propriétés des bâtiments; elle explique le caractère un peu trop abstrait de leurs recherches et la rareté des applications pratiques.

Les premières études scientifiques que nous possédions sont du P. de Pardies, en 1673; elles furent bientôt effacées par celles du P. Paul Host, qui publia en 1692 ses *Traités de mathématiques*, et en 1697, son *Traité de la construction des navires* qui fait suite au grand ouvrage *L'art des armées navales:* en même temps, Witssen donnait en Hollande un ouvrage si estimé que les Etats le supprimérent, pour l'empêcher de se répandre au dehors. Le P. Host pose dans leurs véritables termes quelques uns des problèmes à résoudre; il indique des solutions élémentaires, il propose déjà la mesure de la stabilité, par une expérience analogue à celle dont Borda détermina

(1) V. *Scientia navalis, etc.* par L. Euler, St-Pétersbourg, 1749, Part. II., Ch. IV, § 302. Voir aussi J. Bernoulli, *Propositiones variæ, mechanico-dynamicæ*, XLVI.

(2) *Traité du navire, de sa construction et de ses mouvements*, par Bouguer, Paris, 1746, p. 250.

plus tard les règles encore suivies. On constate avec étonnement que les données de pure observation sont, chez le P. Host, aussi confuses que les principes de théorie ; rien ne prouve mieux l'appui prêté par la théorie à l'expérience, que les notions étranges développées sur le roulis et sur les vagues dans son ouvrage ; la connaissance des mouvements pendulaires et de leurs lois principales l'aurait mieux instruit sur ces points, que les longues campagnes pendant lesquelles il fut le commensal du Maréchal d'Estrées et du Comte de Tourville.

4. — La mécanique du navire fut fondée par Huyghens qui, en créant la théorie du pendule composé, en indiqua l'application aux navires (1) : elle devint une science particulière et étendue dans la première moitié du XVIIIe siècle, grâce aux travaux de Jean Bernoulli, qui définit mathématiquement la stabilité, compléta l'étude des mouvements en eau calme, et études à divers mouvements pendulaires complexes analogues au roulis même ; à ceux de Pitot, qui publia son *Traité de la manœuvre* ; à ceux de Léonard Euler et de Daniel Bernoulli, qui donnèrent à la même époque, dans leurs premiers mémoires, l'ébauche des travaux qui devaient plus tard illustrer leur nom.

5. — L'étude mathématique des vagues ne faisait point des progrès aussi rapides. Léonard de Vinci (2), dans

(1) Journal des savants, ann. 1695.

(2) Le traité de Léonard de Vinci se trouve dans le « *Raccolta di autori italiani che trattano del moto delle acque* » publié à Bologne en 1826, 4e éd., T. X : son importance a été révélée par M. le Comm. Cialdi, dans plusieurs passages du grand ouvrage *Sul moto ondoso del mare e su le Correnti di esso*, Rome, 1866,

son traité *Del moto e misura dell'acqua*, avait expliqué la nature du phénomène, distingué le mouvement propre de l'eau, de la propagation (*impeto*), et deviné les causes principales des oscillations. Newton, après avoir obtenu l'équation du mouvement oscillatoire d'un liquide dans un siphon renversé, imagina de l'appliquer au mouvement des vagues qui résulteraient ainsi d'une oscillation dans des canaux de forme idéale et invariable, coudés, ou plutôt circulaires (Voir Pl. I. fig. 1). Ce calcul, inexact parce qu'il suppose de simples déplacements et non pas des déformations des éléments liquides, constitua une première théorie, dite du siphonnement (1). On ne saurait dire qu'elle ait régné dans la science, car on la trouve généralement adoptée avec défiance; mais du moins elle était la seule à l'époque des premières recherches sur le roulis, et l'on peut faire remonter indirectement jusqu'à elle un principe erroné qui a fait longtemps attribuer à la poussée de l'eau dans les vagues une direction tout-à-fait inexacte.

6. — L'étude des qualités nautiques des navires prit, pendant le XVIII[e] siècle, un développement remarquable; et notre ancienne Académie des sciences contribua grandement à son essor : c'est à la persévérance avec laquelle cette Société proposait sans cesse comme sujet de prix les principales questions d'architecture navale que nous sommes redevables, en 1755, du Mémoire de Chauchot sur les moyens de diminuer le roulis et le tangage; en 1757, du

et surtout dans l'opuscule *Leonardo da Vinci fondatore della dottrina sul moto ondoso del mare*, publié dans la *Rivista marittima*, janvier 1873.

(1) *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, prop. XLII, prob. X, n[os] 2, 5, 6.

Mémoire de D. Bernoulli sur le même sujet; en 1759, d'un Mémoire de L. Euler sur la fatigue des liaisons et d'un Mémoire de Groignard; en 1761, des Mémoires de l'abbé Bossut, de Jean-Albert Euler, de Bourdé de Villehuet et de Groignard sur l'arrimage des navires (1). Ces divers ouvrages sont encore lus avec fruit; ils développent la question sous toutes ses faces et sont remplis d'observations exactes et de calculs ingénieux; mais il faut s'arrêter particulièrement aux travaux de Bouguer, de L.Euler, de D. Bernoulli et de D. Juan (2).

7. — Les deux grands ouvrages de Bouguer, le *Traité du navire, de sa construction et de ses mouvements*, et le *Traité de la manœuvre des vaisseaux*, préparés pendant l'expédition scientifique au Pérou pour la mesure de l'arc du méridien, parurent, le premier en 1746, le second en 1757. Les moyens de déterminer géométriquement le déplacement, la position du centre de carène, la stabilité

(1) Ces Mémoires se trouvent dans le *Recueil des pièces de prix de l'Académie des sciences*, ouvrage très-rare. Ils ont été réimprimés en 1810, en 2 vol. chez Mallet-Bachelier, à l'exception du Mémoire de Chauchot.

(2) La plupart des traités généraux sur la construction écrits à cette époque renferment une dissertation snr le roulis et les qualités nautiques, mais non pas une étude spéciale constituant une théorie proprement dite. Voir surtout les cinq dernières pages des *Eléments de l'Architecture navale* de Duhamel du Monceau; — le *Traité de construction* de Chapman, Suède 1775, traduit en français en 1779, Paris, chez Saillant et Nyon, ch. III *du Centre de gravité*. (Le ch. XII de cet ouvrage reproduit le texte du grand ouvrage en planches du même auteur. *Architectura navalis mercatoria*, Stockholm, 1768), — le *Traité de la construction des vaisseaux*, par Vial du Clairbois, Brest, 1781, ch. III, § 10 et 11. — On ne trouve rien sur la question, dans le *Traité élémentaire* de Vial de Clairbois de 1805.

de forme y sont exposés en détail. Bouguer y donne, pour la première fois, la représentation si simple et si claire de la stabilité fondée sur la notion du métacentre et de la développée métacentrique, qui ne fut cependant point adoptée en général par ses contemporains ; il étudie minutieusement tous les moyens d'augmenter ou de diminuer la stabilité par une modification dans les dimensions principales, les formes ou l'arrimage du navire, et préconise l'usage d'une expérience de stabilité faisant connaître la position du centre de gravité à la fin de chaque armement (1).

Bouguer expose la théorie complète des oscillations en eau calme, mais l'étude de ce mouvement acquiert pour lui une importance toute nouvelle, parce qu'il sait par expérience que les roulis à la mer gardent la même durée qu'en eau calme, c'est-à-dire qu'on n'observe guère à la mer que des *roulis libres*, dans lesquels la stabilité et l'inertie du navire ont un rôle prédominant (2). Appliquant sans hésiter, aux roulis sur l'eau agitée, toutes les règles qui concernent la durée et par suite la vivacité des oscillations en eau calme, il expose clairement l'utilité des œuvres mortes hautes et pesantes, et des mâtures élevées qui rendent la stabilité moindre et, par suite, le roulis plus doux ; il critique en passant, la largeur trop grande de l'Arche de Noë qui, d'après les dimensions rapportées par l'Ecriture, a dû avoir des roulis très-vifs de 3",5 de durée, à moins que son constructeur n'ait augmenté cette durée par une distribution convenable des poids,

(1) Voir *Traité du navire*, liv. II et *Traité de la manœuvre*, liv. I, sect. III, ch. III et suiv.

(2) Voir *Traité du navire* liv. II, sect. III, tout entière et en particulier chap. I, *in fine*, pour la vérification faite à bord du *Triton*.

« comme il y a lieu de le croire » (1). Un des passages qui expriment le plus clairement les idées de Bouguer sur le roulis, c'est celui où il exprime que, à la différence du roulis, le tangage ne peut se perpétuer de lui-même : « le navire ne pouvant faire d'oscillations dans le sens » de sa longueur, sans déplacer beaucoup d'eau vers » l'avant ou vers l'arrière, par le grand mouvement que » reçoivent ses deux extrémités, ces balancements ne » peuvent se continuer d'eux-mêmes; ils ne peuvent se » répéter qu'autant qu'ils sont reproduits derechef par » l'agitation de la mer qui ne cesse pas » (2). Le rôle de la résistance de l'eau dans le roulis n'a pas non plus échappé à Bouguer, et il indique à ce sujet la convenance d'éviter la forme ronde pour les sections transversales; mais il croit à tort que cette force est peu importante, en comparaison du poids et de la poussée (3).

Tant que Bouguer se borne à analyser les faits qu'il a observés relativement au roulis, toutes ses conclusions sont exactes ; il reste indubitablement notre maître, et ses idées n'ont pas vieilli. A cet égard, le *Traité du navire* est irréprochable. Dans le *Traité de la manœuvre*, l'auteur sort parfois de cette sage réserve et se jette dans des recherches dont le temps n'était pas venu. Il ne donne pas, à proprement parler, de théorie des vagues ; il se contente de reproduire, d'après Newton, les lois de l'oscillation du liquide dans des siphons ; il ne semble pas, d'ailleurs, avoir voulu tirer de là aucune conclusion, car le mode d'action des vagues sur les navires, qu'il imagine

(1) *Traité du navire*, liv. II, sect. III, chap. II, § 3, p. 337.

(2) *Traité du navire*, liv. II, sect. III, chap. III, § 5, p. 343. Voir avec soin la suite du passage cité.

(3) *Traité du navire*, liv. II, sect. III, à la fin du § III, p. 330.

plus loin, cadre assez mal avec ces mouvements alternatifs dans des tuyaux immobiles (1). Dans un essai, fort court d'ailleurs, de théorie du roulis, Bouguer exprime l'effet des vagues par une série de chocs distincts et successifs, venant par intervalles se produire *normalement* sur les œuvres mortes du côté du vent. La pression exercée pendant chaque choc, si elle était permanente, tiendrait le navire en équilibre sous un certain angle d'inclinaison φ ; surprenant le navire, elle le couche de l'angle φ ; puis le navire dépassant la position d'équilibre en raison de son inertie, atteint une inclinaison totale 2φ ; abandonné ensuite à lui-même, il exécute une série d'oscillations *libres* que la résistance de l'eau éteint peu à peu jusqu'à l'arrivée d'un nouveau choc. La conclusion de Bouguer, c'est qu'il convient d'étudier la forme des œuvres mortes contre lesquelles s'élèvent les vagues, de telle sorte que la normale à la surface pressée passe à peu de distance du centre de gravité du navire, et que le moment d'inclinaison produit par les chocs reste ainsi très-faible (2).

Cette théorie pèche par la base ; une série de chocs successifs et de même sens ne représente point, même approximativement, l'action des vagues qui est variable, continue, dirigée alternativement dans un sens et dans l'autre : la notion de l'influence du temps qui sépare le passage de deux vagues fait d'ailleurs totalement défaut. L'erreur la plus grave est relative à la direction de la force produite par la vague. La vague presse normalement

(1) *Traité de la manœuvre des vaisseaux*, Paris, chez Guérin, 1757, liv. I, sect. II, ch. IV, p. 102, 104.

(2) *Traité de la manœuvre*, liv. I, sect. III, ch. X, § II et ch. XI, § I et II, p. 247 et suiv.

sur la muraille du ménisque immergé par elle de la même manière que l'eau presse normalement sur toute la carène; en même temps qu'un ménisque immerge, la pression augmente sur toute la portion de carène placée au-dessous de lui, et l'effet résultant est une poussée égale à celle qui aurait été exercée par le liquide environnant sur l'eau dont le ménisque tient la place. Le principe d'Archimède trouve son application ordinaire, sauf à tenir compte de l'effet du mouvement propre du liquide sur l'intensité et la direction de la poussée; cette dernière n'est plus verticale, mais sa direction dépend du mouvement de l'eau et nullement des formes du navire (1).

8. — Plus prudent que Bouguer, L. Euler, dans son grand ouvrage « *Scientia navalis seu tractatus de construendis et dirigendis navibus* » (2), n'étudia les lois de l'équilibre et du mouvement des corps flottants que dans le cas de l'eau calme.

L'analyse du roulis sur l'eau agitée suppose, comme il l'observe avec juste raison, la connaissance préalable des mouvements de l'eau dans les vagues, qui manquait alors. A défaut de recherches théoriques, trop hasardeuses dans de telles conditions pour tenter un esprit aussi rigoureux que le sien, le grand géomètre, qui n'a point, comme Bouguer, la connaissance pratique de la mer, n'essaie même pas de décrire le phénomène; il n'aborde donc par aucun côté l'étude du roulis: ce qu'il faut citer

(1) V. pour le cas où il y a réellement choc de l'eau sur le navire, le nº 46 ci-dessous.

(2) V. aussi la *Théorie complète de la construction et de la manœuvre des vaisseaux* de L. Euler, 1re partie, Ch. X. §§ 78-79, Paris, 1776.

d'Euler, ce sont d'importantes recherches sur la stabilité et les oscillations en eau calme dont il donne le premier les lois exactes et qu'il étudie dans le plus grand détail en faisant les hypothèses les plus variées sur les formes du flotteur et sur la position du centre de gravité, soit dans le plan du couple de stabilité, soit hors de ce plan; sur ces points Euler, est plus complet qu'aucun autre auteur.

9. — Le Mémoire de D. Bernoulli, *Sur la manière de diminuer le roulis et le tangage* (1), contient véritablement la première théorie du roulis, la première tentative pour calculer l'effet des vagues agissant d'une manière continue sur le navire considéré comme doué, en vertu de sa stabilité et de son inertie, des principales propriétés du pendule composé. L'importance de ce Mémoire et l'influence qu'il a eue, surtout en France, sur les recherches faites depuis Bernoulli jusqu'à nos jours, invitent à en donner des extraits importants; nous changerons un peu l'ordre qu'a suivi D. Bernoulli conduit, d'après la manière même dont le problème était posé par l'Académie, à étudier successivement chaque propriété des navires, durée d'oscillation en calme et stabilité, en faisant à l'occasion de chacune d'elles, la portion de théorie propre à montrer son rôle dans les mouvements à la mer.

Pour les vagues, D. Bernoulli admet les idées générales de Newton, suivant lesquelles chaque partie d'eau en particulier oscille dans un tube idéal de forme invariable. Il considère en même temps les ondulations, dans leur ensemble, comme nécessairement analogues au mouve-

(1) *Principes hydrostatiques et mécaniques ou Mémoire sur la manière de diminuer le roulis et le tangage d'un navire*, prix de 1757, réimprimé en 1810 chez Bachelier.

ment des cordes vibrantes; par suite, il admet que la *figure ondoyante* de la surface supérieure a la forme d'une sinusoïde, que les vagues présentent à mi-hauteur des nœuds dont la position est invariable et que, dans l'intervalle des nœuds, les vagues vont s'élevant et s'abaissant alternativement sans se déplacer. Tout en expliquant ainsi les vagues par un mouvement dans des siphons, il rejette la disposition confuse des tuyaux de Newton qui, allant tous d'une vague à l'autre, s'entrecoupent et s'enchevêtrent d'une manière qui blesse l'imagination; il préfère supposer que chaque demi-vague comprend un faisceau de tubes emboités les uns dans les autres, au centre duquel se trouve le tube aboutissant au nœud par ses deux extrémités dans lequel l'eau doit rester immobile (voir Pl. I, fig. 2). Ainsi conçus, les siphons ne peuvent pas avoir leurs extrémités verticales parce que, leurs demi-longueurs l étant différentes, la durée de l'oscillation dans chacun d'eux

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

serait variable. Pour prévenir cette objection et obtenir le synchronisme des mouvements, D. Bernoulli suppose que les branches idéales des siphons ne sont exactement verticales à leur partie supérieure que vers les sommets et les creux des vagues et que, sur les penchants, l'extrémité des tubes fait avec l'horizon un angle β d'autant moindre que la longueur $2l$ du siphon est plus petite, de telle sorte que le produit $l \sin \beta$ est constant, et que la durée des oscillations, qui est avec les tubes inclinés

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g \sin \beta}},$$

se trouve égale partout. L'inclinaison β paraît justifiée à D. Bernoulli par le mouvement horizontal que doit avoir l'eau dans la partie la plus inclinée des vagues (1).

9 bis. — D. Bernoulli, lorsqu'il vient à calculer la valeur du couple de stabilité pour les flotteurs placés sur la surface inclinée des vagues, ne tire pas les conclusions complètes de son étude du mouvement de l'eau : il ne se demande pas quelle direction particulière la poussée de l'eau doit présenter sur une surface inclinée, ce qui l'eût pu conduire à la véritable théorie de la houle : il admet que la poussée reste verticale et que sa valeur par unité de volume a seulement varié : il suppose d'ailleurs la poussée la même en tous les points de la carène et il reconnaît que, dans ces conditions, le volume déplacé par le flotteur n'a pas changé. Dans cette hypothèse, I étant l'inclinaison du flotteur, par rapport à la verticale, et θ l'angle de l'eau avec l'horizon (Pl. II, fig. 2), le moment de stabilité du flotteur, qui, dans l'eau horizontale, serait égal à $P(\rho-a)\sin I$, suivant la notation de Bouguer, se trouve diminué, par l'effet de l'émersion sous le vent et de l'immersion au vent dues à l'inclinaison θ de la vague, de la quantité $P\rho\sin\theta$; ce moment est ainsi réduit à

$$P(\rho-a)\sin I - P\rho\sin\theta \quad (2),$$

(1) Chap. V, § XLV — XLVIII, p. 70 et suiv. Le mouvement imaginé par D. Bernoulli, qui n'offre pas les caractères des vagues, ressemble beaucoup au clapotis (Voir n° 23 ci-dessous): dans ce dernier mouvement, il n'y a pas à la vérité de siphons, mais on y retrouve bien quelque chose de la variation des angles β.

(2) Chap. V, § 52-55.

ou, en remplaçant les sinus par les arcs, à

$$P(\rho-a)I - P\rho\theta.$$

Le flotteur est en équilibre quand ce moment est nul, c'est-à-dire quand on a

$$I = \frac{\rho}{\rho-a}\theta.$$

D. Bernoulli nomme *roulis d'équilibre* le mouvement qui ramène sans cesse le navire vers l'inclinaison I. Il se déclare effrayé de la grandeur de I; cependant il accepte sa formule sur la foi du calcul, et en conclut la nécessité de distinguer soigneusement, dans la stabilité totale $P(\rho-a)$, deux éléments, la stabilité de forme $P\rho$ et la stabilité de poids Pa, et de réduire autant que possible le rapport de la stabilité de forme à la stabilité totale, c'est à dire le rapport

$$\frac{\rho}{\rho-a}.$$

Il justifie cette distinction des deux stabilités par la différence des positions d'équilibre d'une planche et d'une poutre debout sur la surface inclinée des vagues; la première suit exactement le mouvement de la surface tandis que la seconde, selon lui, resterait verticale (1).

(1) D. Bernoulli attribue aussi, aux grandes stabilités en valeur absolue, la propriété de diminuer l'amplitude du roulis: on aurait ainsi un double motif de faire $\rho-a$ le plus grand possible pour avoir à la fois plus de stabilité et un moindre rapport de ρ à $\rho-a$. Voir § X et XXX, p. 15 et p. 45 de Bernoulli, et, ci-dessous, p. 233, le calcul de l'angle Φ.

Dans l'étude des effets qui peuvent résulter de la succession périodique des vagues, D. Bernoulli est le premier qui étudie l'influence de la durée T de la période, abstraction faite de l'inclinaison de l'eau qui a été l'objet de l'analyse qu'on vient de voir. Il admet tout d'abord que le roulis produit par l'effet successif des vagues, le *roulis forcé*, doit être synchrône avec les vagues, en vertu de ce principe que « dans tout système de corps » qui agissent les uns sur les autres, si ces corps font » des mouvements réciproques, réguliers et permanents, » ils feront toujours des mouvements harmonieux et » synchrônes, qui commenceront et finiront tous dans » les mêmes instants.... Or, le navire, quelques balan- » cements qu'il fasse, ne saurait changer les mouve- » ments réciproques des eaux agitées. Ceux-ci maîtri- » seront donc entièrement le navire qui, par consé- » quent, dans ces cas, fera ses balancements harmo- » nieusement avec ceux des eaux agitées. » Ce point de départ ainsi admis arbitrairement, Bernoulli prend le cas où le roulis qu'il nomme *forcé* a atteint sa valeur maximum qui doit rester permanente; il fait le raisonnement suivant : le navire, considéré comme un pendule, exécuterait des oscillations libres ou *roulis naturels* d'une durée T_n, s'il était simplement soumis à l'action de son poids Mg; soumis à son poids Mg, combiné avec une force Mw qui représente l'action des vagues, il fait des oscillations d'une durée T; la longueur λ du pendule simple auquel le navire peut être assimilé est restée la même pour les deux cas, et la force qui sollicite ce pendule a seule varié : en égalant les deux valeurs de λ tirées de

$$T_n = \pi \sqrt{\frac{\lambda}{g}}, \quad T = \pi \sqrt{\frac{\lambda}{g + w}},$$

Bernoulli obtient l'équation

$$\frac{g+w}{g}=\left(\frac{T}{T_n}\right)^2,$$

sans avoir analysé la cause, ni calculé l'intensité ou la direction de la force Mw. Il tire de là

$$\frac{g}{w}=\frac{T_n^2}{T^2-T_n^2};$$

w et g étant ainsi de même signe ou de signe contraire, selon que T est plus grand ou plus petit que T_n. La force Mw, comme la force Mg, agit proportionnellement à l'angle de roulis; le plus grand effort qu'elle exerce sur le navire est donc $M\Phi$, Φ étant l'angle de roulis forcé que l'on cherche. Soit s l'angle de roulis pour lequel le poids Mg, agissant seul, produirait un effort égal à $Mw\Phi$, on a

$$w\Phi=gs,$$

ce qui donne la valeur de Φ

$$\Phi=s\times\frac{g}{w}$$

ou bien

$$\Phi=s\,\frac{T_n^2}{T^2-T_n^2},$$

L'angle s est lui-même inversement proportionnel au bras de levier du couple de stabilité $\rho\text{-}a$, donc en définitive on a

$$\Phi=\frac{M}{P\,(\rho-a)}\,\frac{T_n^2}{T^2-T_n^2},$$

M étant le moment de l'action d'une vague sur le navire,

L'angle Φ est ainsi positif ou négatif, selon que T est plus grand ou plus petit que T_n ; dans le premier cas, le roulis forcé est sans cesse dans le même sens que la rotation de la surface de l'eau, dans le second, il s'exécute à contre-vagues. Si T était égal à T_n, le roulis forcé pourrait devenir infini et le navire chavirerait. Il importe donc d'avoir T aussi différent que possible de T_n; il importe aussi d'avoir une forte stabilité puisque l'angle Φ est inversement proportionnel à ρ-a (1).

Telle est la théorie de D. Bernoulli, exacte dans quelques-uns de ses résultats, si subtile sur certains points qu'on peut à peine lui trouver un corps pour la serrer de près et la combattre, et que le seul moyen de la réfuter est alors de donner les équations différentielles qui représentent les véritables conditions du mouvement du navire. Il faut ajouter toutefois que Bernoulli admet qu'il peut se produire accidentellement des roulis analogues aux mouvements en eau calme, ou *roulis naturels*, conservant la durée T_n se superposant au *roulis d'équilibre* et au *roulis forcé* qui ont tous deux la durée T des vagues : les roulis naturels sont éteints par la résistance de l'eau jusqu'à ce qu'un accident nouveau les reproduise.

Enfin, D. Bernoulli indique la résistance de l'eau comme cause modératrice des mouvements, et propose l'addition de quilles latérales parmi les moyens qui peuvent diminuer l'amplitude du roulis (2).

Sur presque tous les points, et là même où il s'est trompé, D. Bernoulli a tracé la voie à ses successeurs :

(1) Chap. II, § 18-26.

(2) Bernoulli donne donc l'expression de plusieurs roulis distincts, sans chercher à calculer leur résultante qui est le *roulis absolu*. Le but du mémoire de M. Brun, publié en 1864 dans le Mémorial du génie maritime semble avoir été de com-

il garde surtout le mérite d'avoir indiqué l'existence d'une loi entre la durée des vagues et l'amplitude des roulis qu'elles produisent.

10. — Le grand ouvrage de Don Juan, qui parut en 1771 (1) et qui embrasse toutes les questions relatives au navire et à la navigation, présente aujourd'hui beaucoup moins d'intérêt que le mémoire précédent dans une étude historique : en effet, malgré quelques calculs nouveaux et remarquables, Don Juan n'a point fait école comme D. Bernoulli ; ses erreurs ne se sont point perpétuées, leur réfutation n'a plus d'intérêt. Il est intéressant, toutefois, de rappeler brièvement les principaux points de la théorie du roulis contenue dans l'*Examen maritime*, en raison de l'autorité dont cet ouvrage a joui, et pour rendre plus facile la tâche du lecteur qui voudrait encore le consulter sur cette question.

Les idées générales de Don Juan sur les vagues sont, à certains égards, bien plus justes que celles de D. Bernoulli. Il admet, à la vérité, que l'eau, élevée par une cause quelconque au-dessus de sa position d'équilibre, devant descendre en vertu de la pesanteur, d'une quantité égale au-dessous de ce point, les figures alternatives en dessus et en dessous sont nécessairement symétriques, l'action et la réaction étant égales ; mais il reconnaît que les sommets se transportent d'un point à l'autre en passant par toutes les positions intermédiaires. Le système des vagues à

pléter Bernoulli sur ce point, et, en partant des mêmes principes, d'arriver à une équation unique donnant la somme du *roulis d'équilibre* et du *roulis forcé* de Bernoulli.

(1) *Examen maritime, théorique et pratique*, par Don Georges Juan, publié en Espagne en 1771. Traduction française de Levêque, Nantes, 1783.

nœuds et à sommets immobiles n'était pas acceptable pour un homme aussi familier avec la mer que le savant chef d'escadre espagnol. Il répète la théorie du siphonnement, en prenant pour longueur des siphons $2L + 4h$ (L étant la longueur de crête en creux ou demi-longueur des vagues et h la demi-hauteur) : en supposant que le mouvement est vertical dans la partie supérieure des siphons, il indique l'équation différentielle de ce mouvement oscillatoire

$$2y\ dt = \frac{1}{g}(L + 2h)\frac{du}{dt},$$

y étant la hauteur au-dessus de la position moyenne, et u la vitesse verticale $\frac{dy}{dt}$ à un instant quelconque. Il intègre cette équation et obtient, pour le temps écoulé entre le passage d'un sommet et celui du creux suivant, l'expression connue

$$T = \pi\sqrt{\frac{L + 2h}{g}}.$$

Don Juan suppose de plus que le mouvement de propagation est uniforme, et il en conclut la forme des vagues, en posant

$$\frac{x}{L} = \frac{T}{t},$$

d'où, en remplaçant t par sa valeur en fonction de y,

$$x = \frac{L}{\pi}\ \text{arc cos}\ \frac{y}{h},$$

équation d'une sinusoïde que Don Juan nomme *une espèce*

de cycloïde, parce qu'il a cru voir une sorte de roulement du cercle sur lequel se comptent les arcs, dont les sinus et les cosinus sont proportionnels au temps t.

Don Juan suppose ensuite, sans invoquer aucune preuve, que la hauteur maximum des vagues est atteinte quand la forme de chacune de leurs moitiés est la demi-cycloïde qui serait engendrée par le cercle de rayon h roulant sur la ligne des creux pour décrire la moitié supérieure et sur la ligne des sommets pour décrire la moitié inférieure : cette hypothèse est exprimée par l'égalité

$$L = 2h + \pi h,$$

qui donne, pour le maximum du rapport de h à L, la valeur

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{2+\pi},$$

valeur notablement supérieure à celle qui s'observe sur les vagues de la mer. Il est à remarquer, comme rencontre curieuse, que la moitié inférieure des vagues *maxima* ainsi imaginées par Don Juan se trouve parfaitement identique, avec la moitié inférieure des vagues théoriques *maxima*.

Dès le début de la théorie du roulis, Don Juan tient compte de la résistance de la carène dans l'eau, résistance à laquelle il accorde une attention toute particulière et qu'il suppose proportionnelle à la vitesse angulaire. Il pose ainsi l'équation différentielle des oscillations en eau calme,

$$\sum mr^2 \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -P(\rho - a)\sin\varphi + K\frac{d\varphi}{dt},$$

K étant un coefficient constant, et il arrive, pour l'expression de la durée T_n de ces oscillations, à une formule très-compliquée et différente de celle obtenue plus tard par Poisson dans les mêmes hypothèses; mais il se sert aussi, comme on va voir, de la formule ordinaire

$$T_n = \pi \sqrt{\frac{\sum mr^2}{P(\rho - a)}}.$$

Pour étudier le roulis sur mer houleuse, l'auteur admet que les vagues produisent des oscillations isochrônes avec elles; ensuite il considère les vagues comme des espèces de protubérances d'eau isolées et pour ainsi dire séparées par des espaces calmes; il suppose que l'action d'une vague se produit dès qu'elle commence à se lever sous la muraille latérale, et atteint son maximum seulement au moment où le sommet est sous le navire à une certaine distance d de la muraille latérale, la vague ayant parcouru l'espace

$$L + d$$

depuis qu'une autre vague a passé. Il donne, pour la durée de l'effet d'une vague, non pas la durée de la vague,

$$\pi \sqrt{\frac{L + 2h}{g}},$$

mais bien le produit

$$\pi \sqrt{\frac{L + 2h}{g}} \left(\frac{L + d}{L}\right).$$

En attribuant ensuite aux vagues l'inclinaison maxima qui correspond à la relation

$$L = 2h + \pi h,$$

il arrive, pour la durée T' du roulis de vagues à la valeur

$$T' = \sqrt{(4 + \pi)\frac{h}{g}}\left(1 + \frac{d}{(2 + \pi)h}\right);$$

cette valeur présente un minimum, pour une valeur de h égale à un pied et demi environ, lorsqu'on donne à d la longueur qui convient pour un vaisseau de 60 canons.

Ayant ainsi T', Don Juan appelle z une valeur telle que l'on ait

$$T' = \pi\sqrt{\frac{\sum mr^2}{Pz}},$$

c'est-à-dire telle que l'on ait

$$\frac{T_n^2}{T'^2} = \frac{z}{\rho - a},$$

ce qui donne

$$z = (\rho - a)\frac{T_n^2}{T'^2}:$$

il admet ensuite que le moment de l'action des vagues qui produisent des oscillations de durée T' est

$$Pz \sin\varphi = P(\rho - a)\frac{T_n^2}{T'^2}\sin\varphi,$$

tandis que le moment de la force exercée par l'eau calme est

$$P(\rho - a)\sin\varphi;$$

il suppose, non pas que ces deux moments se produisent isolément sur les vagues, mais que le moment résultant est égal à leur demi-somme

$$P(\rho - a) \sin \varphi \frac{T_n^2 + T'^2}{2 T'^2}.$$

D'après ce calcul, la véritable durée du roulis produit par les vagues, lorsque, par suite de la succession d'un nombre de vagues convenable, elle a atteint sa valeur définitive, est

$$T'' = \pi \sqrt{\frac{\sum mr^2}{P(\rho - a)} \frac{2 T'^2}{(T_n^2 + T'^2)}};$$

ce résultat sert de base à une discussion détaillée. Don Juan étudie aussi la dénivellation résultant des roulis, l'influence de la direction du navire par rapport aux vagues et tout ce qui concerne, soit l'amplitude, soit la dureté des oscillations : les conclusions fort justes auxquelles il arrive parfois, semblent lui avoir été dictées bien plutôt par son habitude de la navigation que par l'analyse des formules théoriques : c'est surtout dans les chapitres où il entre peu de calculs, que Don Juan reste intéressant à consulter.

11. — Les grands travaux théoriques dont nous venons de donner l'analyse sommaire, furent accompagnés de perfectionnements pratiques importants dans les constructions navales : ces derniers peuvent être attribués en partie aux progrès de la science, mais ils résultent surtout de l'activité générale des esprits, dont un mouvement scientifique prononcé est toujours l'indice. Les habiles constructeurs comme Olivier, Groignard et d'au-

tres qui, au siècle dernier, donnèrent à nos navires une réputation méritée, surent distinguer nettement les principes confirmés par l'expérience de ceux qui devaient être laissés dans le domaine de la spéculation et de la controverse. Leurs traditions continuées pendant un demi-siècle et perfectionnées d'une manière lente mais sûre par d'habiles ingénieurs conduisirent à la construction de la flotte à voiles à laquelle s'attache surtout le souvenir de Sané.

Aujourd'hui, l'architecture navale n'est plus une science indépendante, pouvant comme jadis se guider uniquement dans sa marche par les règles qu'elle a vérifiées d'abord : les transformations de la flotte se lient aux progrès des machines, de l'artillerie, de la métallurgie, de toute l'industrie moderne et aux besoins variables des moyens de transport : les révolutions sont rapides pour la flotte de guerre, en raison des variations des systèmes d'attaque et de défense. Il faut dès lors, dans le tracé des carênes, un essor plus hardi, et, la tradition et l'intuition même ne pouvant plus suffire, l'art du constructeur doit se combiner et se confondre davantage avec la science du théoricien. La science, de son côté, pour se plier à ces nouvelles exigences, doit subir une transformation ; il faut qu'elle rejette ce qu'elle contenait d'hypothétique et de purement spéculatif, et que, par le développement rationnel des branches susceptibles d'applications pratiques, elle réponde à la grandeur des intérêts qui viennent reposer sur elle.

Pour atteindre ce degré de précision, l'étude des qualités nautiques doit modifier son ancien caractère et faire une plus grande place à l'empirisme et à l'expérimentation. Les essais en eau calme et surtout les observations à la mer doivent se multiplier. L'importance des études

théoriques n'en sera point amoindrie, loin de là; car la connaissance des forces en jeu est indispensable aux observateurs qui veulent en mesurer les effets; les principes fondamentaux que le calcul ou le raisonnement établissent doivent être plus que jamais répandus et vulgarisés, et, grâce à eux, la science et la pratique pourront ensuite se prêter réciproquement un fructueux appui.

Ecrits d'après ces considérations, les chapitres qui suivent renferment avec l'exposé des questions pendantes, la plupart des données qui peuvent, d'après les calculs les plus sûrs, être aujourd'hui considérées comme bien acquises. L'importance de ce travail est moins dans les résultats présentés, que dans les propositions faites pour en obtenir de plus complets et dans les efforts tentés pour inspirer les expérimentateurs. Je me suis proposé de traiter surtout les questions vraiment utiles et de dégager une étude en elle-même si complexe, de tout ce qui n'est que spécieux. Ingénieur des constructions navales, j'ai été poussé tout d'abord à écrire sur ces matières, par le besoin d'obtenir des données qui manquent encore à l'art important de construire les navires, et, si parfois je me suis trouvé conduit à étendre un peu l'horizon de recherches qui intéressent la physique du globe ou la navigation en général, je n'ai jamais perdu de vue les questions pratiques qui pour moi doivent dominer tout le sujet.

II.

DES VAGUES QUAND LA MER EST D'UNE PROFONDEUR ET D'UNE ÉTENDUE INFINIES.

12. — Pour appliquer aux vagues de la mer les lois obtenues par l'analyse sur les ondulations des liquides, il faut s'être assuré d'abord que l'agitation de la mer est toujours constituée, du moins dans les phénomènes dominants, par un mouvement simple et régulier des molécules, tel que celui des *ondes courantes*.

La houle de beau temps offre bien un profil uniformément ondulé et semblable à une trochoïde, mais le caractère des lames d'une tempête paraît, au premier abord, tout différent. Les lames présentent des escarpements irréguliers, leur inclinaison est sensiblement plus grande au vent que sous le vent; leur crête, plus violemment battue par le vent que les autres parties, retombe en écume sur le versant arrière; leurs dimensions sont parfois variables; et, enfin, il paraît vraisemblable que leur mouvement en avant subit une certaine accélération par suite de l'action du vent. Cependant, sous l'agitation tumultueuse de la surface, on distingue facilement la régularité du mouvement de fond périodique, le même qui survivra plus tard au vent qui le produit : les caractères généraux des ondes courantes ne cessent d'être apparents que si plusieurs houles se superposent les unes aux autres dans la même direction ou dans des directions différentes, mais ce n'est point là une dérogation à la régularité générale qui se retrouve encore sur chaque houle en particulier : les expériences un peu précises montrent que les lois théoriques s'appliquent, du moins

avec une grande approximation, même aux vagues de très-gros temps (1).

Dans le langage usuel, on réserve souvent le nom de houle aux ondulations qui se propagent au-delà de la région agitée par la brise, soit dans la direction du vent, soit dans les autres directions, ainsi qu'à celles qui se perpétuent dans la partie agitée, après que le vent a cessé. Comme le phénomène existait déjà sous l'action du vent, il est naturel de lui donner le même nom, et de nommer houle, *lato sensu*, toute série d'ondes courantes se suivant de telle sorte que le même mouvement d'eau qui forme une onde se reproduit pour former la suivante, à une légère modification près. Les vagues sont ainsi les éléments de la houle pour tous les cas: il y a lieu de distinguer la houle et les vagues de vent, de la houle et des vagues de calme (calme dans l'air), mais ce ne sont là que deux variétés d'un même phénomène.

Pour exprimer par un seul mot chacune des deux variétés d'ondes, nous n'avons dans la langue française que les noms de *vagues* et de *lames*, qui ne s'appliquent pas jusqu'ici à des ondulations distinctes, rigoureusement définies: on appelle le plus souvent lames, les vagues présentant un certain caractère d'acuité, soit en raison de la violence du vent, soit en raison du défaut de profondenr de l'eau, soit en raison de la superposition de plusieurs houles, c'est-à-dire des vagues qui n'ont de commun que quelques apparences. Il est possible d'introduire ces noms dans la langue scientifique, en appelant lames les vagues accompagnées du vent qui les soulève ou les entretient, et en appelant par opposition vagues les lames arrivées à leur période décroissante, le vent ayant cessé.

(1) Voir *Complément à l'Etude*, n° 9.

Le mot *vague* garderait le sens général s'appliquant à toutes les ondes courantes de la mer, et prendrait un sens spécial lorsqu'il serait opposé à *lame* : les autres mouvements, qui ne sont que des exceptions, seraient désignés par des périphrases. La houle de vent et la houle de calme pourraient se qualifier par les noms de *houle de vagues* et *houle de lames* qui expriment leurs éléments constitutifs.

Le seul mouvement ondulatoire de la mer qui reste en dehors de la houle est celui du clapotis qui produit les lames aiguës s'élevant et retombant sur place sans se propager. Les *ondes clapoteuses* sont rares loin des côtes; seulement la rencontre des vagues soulevées par l'avant des navires avec les vagues de la mer produit, par petit temps, un effet analogue à celui du clapotis.

Nous ne nommerons ici que pour mémoire les *ondes solitaires*, dont l'existence en haute mer est un fait anormal.

13. — Rappelons maintenant les principales lois théoriques du mouvement des vagues dans un milieu infini en étendue et en profondeur. Les équations expriment les mouvements qui sont possibles en raison des propriétés des liquides, mais elles laissent entière la question de savoir quels sont, parmi ces mouvements, ceux que le vent est capable de faire naître.

Le mouvement absolu des molécules est circulaire et uniforme; le rayon des orbites est le même pour toutes les molécules dont les centres d'oscillation sont à la même profondeur; la vitesse angulaire est la même pour toutes les molécules. Le mouvement de propagation des ondes est uniforme; il est de même sens que le mouvement absolu à la partie supérieure des cercles décrits.

Soit z la profondeur du centre d'oscillation des diverses molécules d'une file verticale, en la comptant de haut en bas avec le signe $+$; soit t le temps à partir d'un instant initial où la file verticale considérée passe par le sommet d'une vague ; soient x et y les coordonnées, à un instant quelconque de l'une des molécules considérées, et r le rayon de son orbite.

Soit enfin U la vitesse de propagation comptée de gauche à droite avec le signe $+$, et ε la vitesse angulaire comptée avec le signe $+$ dans le sens des aiguilles d'une horloge, suivant la convention habituelle. Les règles des signes suivies dans ma première *Etude sur la houle et le roulis* et son *Complément*, se trouvent ainsi abandonnées et remplacées par celles des *Notes sur la théorie et l'observation de la houle et du roulis*, dont la rédaction est du reste antérieure à celle du *Complément*.

Les équations (1)

$$(1) \quad \begin{cases} x = -Ut + r \sin \varepsilon t, \\ y = -z + r \cos \varepsilon t, \end{cases}$$

représentent la trajectoire d'une molécule d'eau quelconque par rapport à deux axes de coordonnées dont l'un, l'axe des abscisses, est fixe et passe par les centres d'oscillation des molécules de la surface pour lesquelles on a $z = 0$, et dont l'autre, l'axe des ordonnées, suit le mouvement de propagation des ondes, en passant constamment par un sommet. Ainsi, quand U et ε sont positifs, la houle se propage de gauche à droite et le mouvement

(1) Pour la démonstration de toutes ces équations par deux méthodes différentes, Voir les nos 1-7 du *Complément*.

relatif de translation des molécules par rapport aux axes mobiles adoptés se fait de droite à gauche.

Les axes choisis ont cet avantage que, par rapport à eux, toutes les molécules situées à la même profondeur ont une trajectoire unique : les coordonnées x et y des trajectoires ou couches horizontales liquides, se trouvent ainsi fonction de deux variables seulement z et t, tandis que, dans le mouvement absolu rapporté à des axes fixes, les coordonnées d'une molécule sont nécessairement fonction de trois variables, le temps t et les deux coordonnées x_0 et z du centre d'oscillation de chaque molécule.

Pour déduire des équations (1) celles du mouvement absolu des molécules, il suffit de remarquer que les équations (1) représentent le mouvement des molécules qui, à l'origine de temps, se trouvent sur l'axe des y et que, par un simple changement d'origine des temps, elles représenteraient de même celui d'une molécule quelconque et donneraient, en même temps que la forme de la trajectoire, le mouvement sur la trajectoire. En ajoutant au mouvement par rapport aux axes mobiles, le mouvement général $+ Ut$ qui rend les axes fixes, on obtient les équations du mouvement des molécules qui sont sur l'axe des y à l'origine des temps.

$$(2) \quad \left\{ \begin{aligned} x &= r \sin \varepsilon t, \\ y &= -z + r \cos \varepsilon t. \end{aligned} \right.$$

On déduit de là, pour le mouvement des molécules dont le centre d'oscillation a une abscisse quelconque x_0 par rapport aux axes fixes et qui sont par conséquent en

retard d'un temps égal à $\frac{x_0}{U}$ par rapport aux molécules précédentes, les équations

$$(3) \quad \begin{cases} x = x_0 + r \sin \varepsilon \left(t - \frac{x_0}{U}\right), \\ y = -z + r \cos \varepsilon \left(t - \frac{x_0}{U}\right). \end{cases}$$

Non seulement les équations (3) renferment une variable de plus que les équations (1), mais elles sont encore d'un usage moins commode que ces dernières pour la discussion des différentes lois. Par rapport à des axes immobiles, en effet, tout dans la houle se trouve variable; la pression, la poussée, la forme d'un élément liquide changent en chaque point et à chaque instant; il n'y a de fixe que la position des centres d'oscillations des molécules, points d'une existence purement idéale. Par rapport aux axes mobiles, au contraire, les formes des couches liquides deviennent fixes, la pression, la poussée etc., sont constantes en chaque point. Le mouvement uniforme appliqué aux centres d'oscillations, qui simplifie les équations, n'introduit d'ailleurs dans les idées aucune confusion.

14. — Les éléments qui suffisent pour définir les vagues, sont la longueur 2L de crête en crête, et la hauteur $2h$ du creux au sommet. Toutes les autres données, la durée 2T, ou temps écoulé en un point entre le passage de deux crêtes successives, l'inclinaison maximum Θ ou angle de la tangente au point d'inflexion avec l'horizon, la vitesse de propagation U, la vitesse angulaire ε,

la poussée hydrostatique F par unité de volume, la pression P, la vitesse absolue des molécules u et d'autres que nous allons voir peuvent s'exprimer en fonction de la longueur et de la hauteur.

Les équations entre les divers éléments des vagues, sont les suivantes.

On a d'abord les trois égalités

$$(4) \qquad L = UT,$$

$$(5) \qquad \pi = \varepsilon T,$$

$$(6) \qquad g = U\varepsilon,$$

dont la dernière est donnée par la théorie; on en déduit l'égalité

$$(7) \qquad \frac{\varepsilon^2}{g} = \frac{\pi}{L},$$

qui sert souvent pour les transformations à faire subir aux équations.

On en déduit aussi

$$(8) \qquad L = \frac{gT^2}{\pi},$$

$$(8 \text{ bis}) \qquad T = \sqrt{\frac{\pi L}{g}},$$

$$(9) \qquad L = \frac{\pi}{g} U^2,$$

$$(9 \text{ bis}) \qquad U = \sqrt{\frac{g}{\pi} L},$$

(10) $$U = \frac{g}{\pi} T.$$

La durée T est l'élément le plus facile à observer ; les équations (8) et (10) donnent immédiatement L et U en fonction de T.

Pour la vitesse absolue u des molécules de la superficie, dont l'étude est importante au point de vue de certains chocs sur la carène et sur le gouvernail d'un navire, on a

(11) $$u = \varepsilon h = \frac{\pi}{T} h = \frac{h}{L} \frac{\pi L}{T},$$

(11 bis) $$u = \frac{h}{L} gT,$$

(11 ter) $$u = \frac{gh}{U}.$$

La valeur de l'inclinaison maximum est donnée par les équations

(12) $$\text{tang } \Theta = \frac{\varepsilon^2 h}{g},$$

(12 bis) $$\text{tang } \Theta = \pi \frac{h}{L}.$$

Le coefficient angulaire d'une couche horizontale en un point quelconque du liquide est

(13) $$\text{tang } \theta = \frac{-\varepsilon^2 r \sin \varepsilon t}{-g + \varepsilon^2 r \cos \varepsilon t} = \frac{-\pi \frac{r}{L} \sin \varepsilon t}{-1 + \pi \frac{r}{L} \cos \varepsilon t};$$

celui d'une couche verticale est

$$(14)\quad \tang \theta' = \frac{g + \varepsilon^2 r \cos \varepsilon t}{\varepsilon^2 r \sin \varepsilon t} = \frac{1 + \pi \frac{r}{L} \cos \varepsilon t}{\pi \frac{r}{L} \sin \varepsilon t}.$$

La valeur des dérivées premières et secondes de θ et de θ' sert pour les calculs de roulis: on a

$$(15)\qquad \frac{d\theta}{dt} = \frac{-\varepsilon^5 r^2 + g\varepsilon^3 r \cos \varepsilon t}{g^2 + \varepsilon^4 r^2 - 2g\varepsilon^2 r \cos \varepsilon t},$$

$$(15\text{ bis})\qquad \frac{d\theta'}{dt} = \frac{-\varepsilon^5 r^2 - g\varepsilon^3 r \cos \varepsilon t}{g^2 + \varepsilon^4 r^2 + 2g\varepsilon^2 r \cos \varepsilon t},$$

$$(16)\qquad \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{-g\varepsilon^4 r (g^2 - \varepsilon^4 r^2) \sin \varepsilon t}{(g^2 + \varepsilon^4 r^2 - 2g\,\varepsilon^2 r \cos \varepsilon t)^2},$$

$$(17)\qquad \frac{d^2\theta'}{dt^2} = \frac{g\varepsilon^4 r (g^2 - \varepsilon^4 r^2) \sin \varepsilon t}{(g^2 + \varepsilon^4 r^2 + 2g\,\varepsilon^2 r \cos \varepsilon t)^2}.$$

Les rayons des orbites des molécules sont donnés en fonction de la profondeur z par les équations

$$\mathrm{U}\,\frac{dr}{dz} + \varepsilon r = 0,$$

$$\frac{dr}{dz} + \pi \frac{r}{L} = 0;$$

et, en intégrant,

$$(18)\qquad r = he^{-\frac{\varepsilon^2}{g}z} = he^{-\frac{\varepsilon}{U}z} = he^{-\frac{\pi}{L}z}$$

$$(18\text{ bis})\qquad \log.\frac{r}{h} = -\frac{\pi M}{L}z,$$

M étant le module logarithmique 0,434294. Les tangentes des inclinaisons maxima Θ_1 des diverses couches horizontales sont proportionnelles aux rayons r, et l'on a

$$(18\text{ ter})\quad \log.\frac{\tang\Theta}{\tang\Theta_1} = -\frac{\pi M z}{L} = -1,36437\,\frac{z}{L}.$$

La poussée est normale en chaque point aux couches horizontales ; elle est donc, à la partie supérieure du liquide, normale à la superficie.

La valeur de la poussée F est, sur l'unité de volume du liquide d'un poids δ,

$$(19)\qquad F = \frac{\delta}{g}\sqrt{g^2 + \varepsilon^4 r^2 - 2g\,\varepsilon^2 r\cos\varepsilon t},$$

$$(19\text{ bis})\qquad F = \delta\sqrt{1 + \pi^2\frac{r^2}{L^2} - 2\pi\frac{r}{L}\cos\varepsilon t},$$

δ étant le poids spécifique et $\frac{\delta}{g}$ la masse spécifique ou densité. L'expression de la pression est

$$(20) \qquad P = \Pi + \delta z - \frac{\delta \varepsilon^2 h^2}{2g}\left(1 - e^{-2\frac{\varepsilon^2}{g}z}\right),$$

$$(20\ \text{bis}) \qquad P = \Pi + \delta z - \delta\pi \frac{h^2}{2L}\left(1 - e^{-2\frac{\pi}{L}z}\right).$$

Π étant la pression atmosphérique. La différentielle de la pression est

$$(21) \qquad dP = \delta\left(1 - \frac{\varepsilon^4 r^2}{g^2}\right)dz = \delta\left(1 - \frac{\pi^2 r^2}{L^2}\right)dz.$$

Si, dans un petit parallélogramme $a\,b\,c\,d$ compris entre deux couches horizontales et deux couches verticales infiniment voisines (Pl. I, fig. 4), on nomme ds les côtés horizontaux, et ds' les côtés verticaux, on a

$$(22) \qquad ds = \frac{dt}{\varepsilon}\sqrt{g^2 + \varepsilon^4 r^2 - 2g\varepsilon^2 r \cos \varepsilon t},$$

$$(22\ \text{bis}) \qquad ds = U\,dt\sqrt{1 + \pi^2\frac{r^2}{L^2} - 2\pi\frac{r}{L}\cos \varepsilon t},$$

$$(23) \qquad ds' = \frac{dz}{g}\sqrt{g^2 + \varepsilon^4 r^2 + 2g\varepsilon^2 r \cos \varepsilon t},$$

$$(23\ \text{bis}) \qquad ds' = dz\sqrt{1 + \pi^2\frac{r^2}{L^2} + 2\pi\frac{r}{L}\cos \varepsilon t},$$

et la surface constante du parallélogramme est

$$(24) \qquad d\sigma = \frac{g^2 - \varepsilon^4 r^2}{g\varepsilon}\, dt\, dz,$$

$$(24 \text{ bis}) \qquad d\sigma = \frac{g}{\varepsilon}\left(1 - \pi^2 \frac{r^2}{L^2}\right) dt\, dz.$$

Cette valeur devient négative pour les valeurs de πr supérieures à L; cela tient à ce que la surface $d\sigma$ a été exprimée par l'équation

$$d\sigma = ds\, ds' \sin(\theta - \theta');$$

or, à partir de la couche horizontale correspondant à $\pi r = L$, à laquelle toutes les couches verticales sont tangentes, l'angle θ' devient plus grand que θ. Il est d'ailleurs évident que les couches supérieures ne peuvent rentrer dans les couches inférieures, en raison de l'impénétrabilité de la matière, et que la cycloïde est la limite de la forme des vagues.

La fig. 6, Pl. I, représente les déformations successive du parallélogramme $d\sigma$, en supposant

$$dz = U\, dt \quad \text{et} \quad \frac{r}{L} = 0{,}125.$$

Le niveau moyen de l'eau (ligne des centres d'oscillations de la superficie) s'élève, par suite de la formation des vagues, d'une hauteur égale à

$$\frac{\pi h^2}{2L},$$

et le moment total de l'élévation de l'eau en poids est égal à

$$\frac{\delta L h^2}{2}\left(\frac{3}{2} - \pi\frac{h}{L}\right).$$

Le travail négatif de la pesanteur $\mathfrak{T}_p$ et la force vive ou travail de la force d'inertie $\mathfrak{T}_i$ correspondant à la formation d'une vague sont égaux entr'eux, et l'on a

$$(25)\qquad \mathfrak{T}_p = \mathfrak{T}_i = -\sigma\frac{Lh^2}{4}\left(1 - \frac{\pi^2}{2}\frac{h^2}{L^2}\right).$$

Voici le détail de ce dernier calcul qui n'est pas donné dans ma première *Etude* ni dans le *Complément* (1).

La trochoïde de la superficie du liquide présente, pour une vague complète, une surface S dont la valeur, par rapport aux axes choisis, est

$$S = \int_0^{-\frac{\pi}{\varepsilon}} y dx,$$

$$\int y dx = h\int \cos\varepsilon t\left(-\frac{g}{\varepsilon} + h\varepsilon\cos\varepsilon t\right)dt,$$

et, comme on a

$$\cos^2\varepsilon t = \frac{1+\cos 2\varepsilon t}{2},$$

(1) Voir mes *Notes sur la théorie et l'observation de la houle et du roulis*, note C. Cette note contient sur la valeur de $\mathfrak{T}_p$, une erreur que le lecteur peut corriger facilement, les valeurs de M et de M_1 étant exactes.

on obtient

$$\int_0^\pi y\,dx = -\frac{qh}{2}\sin\alpha + \frac{h^2}{4}\sin 2\alpha + \frac{h^2}{2}\alpha,$$

d'où

$$S = -\frac{\pi h^2}{2}.$$

Le volume V d'une vague au-dessus de la ligne horizontale passant par les creux est donné par l'équation

$$V = Lh - \frac{\pi h^2}{2},$$

$$V = Lh\left(1 - \frac{\pi h}{2L}\right);$$

le niveau supérieur du liquide au repos, est au-dessus de cette ligne, à la hauteur

$$h\left(1 - \frac{\pi h}{2L}\right).$$

Le moment du poids du liquide au repos au-dessus de la même ligne est

$$2\,\frac{Lh^2}{2}\left(1 - \frac{\pi h}{2L}\right)^2.$$

Quand la vague est soulevée, le moment du même liquide est

$$2\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{(h+y)^2}{2}\,dx,$$

et l'on a successivement

$$\int\frac{(h+y)^2}{2}\,dx=\frac{h^2}{2}\int(1+\cos^2\varepsilon t+2\cos\varepsilon t)\times$$
$$\times\left(-\frac{g}{\varepsilon}+h\varepsilon\cos\varepsilon t\right)dt,$$

puis, en développant et intégrant les produits partiels,

$$\int-\frac{g}{\varepsilon}\,dt=-\frac{g}{\varepsilon}\,t,$$

$$\int h\varepsilon\cos\varepsilon t\,dt=h\sin\varepsilon t,$$

$$\int-\frac{g}{\varepsilon}\cos^2\varepsilon t\,dt=-\frac{g}{2\varepsilon}\,t+\frac{g}{4\varepsilon^2}\sin 2\,\varepsilon t,$$

$$\int h\varepsilon\cos^3\varepsilon t=\frac{3}{4}\,h\sin\varepsilon t+\frac{1}{12}\,h\sin 3\,\varepsilon t,$$

$$\int-2\,\frac{g}{\varepsilon}\cos\varepsilon t\,dt=-\frac{2g}{\varepsilon^2}\sin\varepsilon t,$$

$$\int 2h\varepsilon\cos^2\varepsilon t\,dt=h\,\varepsilon t+\frac{h}{2}\sin\varepsilon t;$$

On tire de là, pour la valeur du moment du liquide soulevé, l'expression

$$\frac{\delta h^2}{2}\left(\frac{3}{2}\,\frac{\pi g}{\varepsilon^2}-\pi h\right),$$

et, comme on a

$$\frac{\pi g}{\varepsilon^2} = L,$$

cette expression peut s'écrire

$$\frac{\delta L h^2}{2}\left(\frac{3}{2} - \pi\frac{h}{L}\right).$$

Il y a donc, quand une vague s'élève, un travail dépensé $\mathfrak{T}_p$, égal à la différence des deux moments calculés et donné par l'équation

$$-\mathfrak{T}_p = \frac{\delta L h^2}{4}\left(1 - \frac{\pi^2 h^2}{2L^2}\right),$$

et, quand la hauteur de la vague varie, le travail positif ou négatif du poids de l'eau est

$$\frac{\delta L}{4}\left(h^2 - h'^2 + \frac{\pi^2 h'^4}{2L^2} - \frac{\pi^2 h^4}{2L^2}\right).$$

On pourrait de même calculer le travail de la pesanteur correspondant à tout changement fini ou infiniment petit de la longueur L.

Voici maintenant le calcul de la force vive.

Une couche horizontale d'épaisseur infiniment petite, correspondant à une augmentation dz de la profondeur des centres d'oscillation, a pour section

$$\frac{g^2 - \varepsilon^4 r^2}{g\varepsilon}\, dz \int_0^T dt = \frac{g^2 - \varepsilon^4 r^2}{g\varepsilon}\, T\, dz;$$

la vitesse u des molécules est εr; la force vive est donc

$$\frac{\delta}{2g}\,\frac{g^2-\varepsilon^4 r^2}{g\varepsilon}\,\mathrm{T}\,dz\,\varepsilon^2 r^2 = \frac{\pi\delta}{2}\left(r^2-\frac{\pi^2 r^4}{\mathrm{L}^2}\right)dz$$

et, en remplaçant r par sa valeur et faisant la somme pour toutes les profondeurs,

$$-\mathfrak{T}_i = \sum\frac{mu^2}{2} = \frac{\pi\delta}{2}\int_0^{\infty}\left(h^2 e^{-\frac{2\pi}{\mathrm{L}}z} - \frac{\pi^2}{\mathrm{L}^2}h^4 e^{-\frac{4\pi}{\mathrm{L}}z}\right)dz$$

$$= \frac{\delta \mathrm{L} h^2}{4}\left(1-\frac{\pi^2 h^2}{2\mathrm{L}^2}\right).$$

Les variations de force vive accompagnant tout changement dans la hauteur ou dans la longueur des vagues sont égales au travail de la pesanteur pour les mêmes changements.

On peut remarquer que la plupart des formules qui précèdent prendraient une forme plus simple, si l'on posait

$$\mathrm{H} = \frac{\mathrm{L}}{\pi} = \frac{\mathrm{U}}{\varepsilon} = \frac{g}{\varepsilon^2}$$

et que l'on calculât les diverses données en fonction de H, au lieu de les calculer en fonction de L ou de T. Ainsi l'on aurait

$$\mathrm{U}^2 = g\mathrm{H},$$

$$\operatorname{tang}\theta = \frac{\pi}{\mathrm{H}},$$

$$r = he^{-\frac{z}{H}},$$

$$-\mathcal{T}_p = -\mathcal{T}_i = \frac{\delta L h^2}{4}\left(1 - \frac{h}{2H^2}\right);$$

la poussée F, la pression P, les arcs ds et ds', etc., prendraient également une forme plus simple.

Le paramètre H est le rayon du cercle engendrant des cycloïdes d'une longueur égale à celle des vagues, c'est-à-dire la demi-hauteur des vagues qui présenteraient un point de rebroussement.

Ce rayon H apparaît fréquemment dans les formules de Gerstner, ainsi que dans celles de Macquorn Rankine; je l'ai pris, au premier abord, pour la demi-hauteur réelle des vagues dans la citation de Gerstner, faite par M. Scott Russell (1).

15. — La demi-hauteur des vagues pouvant présenter toutes les valeurs possibles de 0 à H, les éléments des vagues sont de deux sortes; les uns dépendent seulement de la durée T qui est d'une observation relativement facile; les autres dépendent à la fois de la longueur et de la hauteur. La valeur des premiers en fonction de T est donnée par le tableau suivant calculé à l'aide des formules qui précèdent, pour des valeurs de T comprises entre 0 et 12″.

(1) Ainsi, dans l'expression de T rapportée en note dans l'avant-propos de mon *Etude*, h est précisément ce que j'appelle ici H.

Durée du passage d'une demi-vague	Longueur d'une demi-vague	Vitesse de propagation	Rapport $\frac{r}{h}$ pour diverses valeurs de z.					Suite du rapport $\frac{r}{h}$. Gdes profondeurs.				
T	L	U	$z = 2^m$	$z = 4^m$	$z = 6^m$	$z = 8^m$	$z = 10^m$	20m	30m	40m	50m	100m
1″	3m12	3m12	0,134	0,018	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1″5	7,06	4,70	0,410	0,168	0,069	0,028	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2″	12,49	6,24	0,605	0,366	0,221	0,134	0,080	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
2″5	19,51	7,81	0,725	0,525	0,381	0,276	0,200	0,040	0,008	0,002	0,000	0,000
3″	28,10	9,37	0,800	0,639	0,511	0,409	0,327	0,107	0,035	0,011	0,004	0,000
3″5	38,25	10,93	0,848	0,720	0,611	0,518	0,440	0,193	0,085	0,037	0,016	0,000
4″	49,96	12,49	0,882	0,778	0,686	0,605	0,533	0,284	0,152	0,081	0,043	0,002
4″5	63,22	14,05	0,905	0,820	0,742	0,672	0,608	0,370	0,225	0,137	0,083	0,007
5″	78,06	15,61	0,923	0,851	0,785	0,725	0,668	0,447	0,299	0,200	0,134	0,018
5″5	94,45	17,17	0,936	0,875	0,819	0,766	0,717	0,514	0,369	0,264	0,190	0,036
6″	112,40	18,73	0,946	0,894	0,846	0,800	0,756	0,572	0,432	0,327	0,247	0,061
7″	152,99	21,85	0,960	0,921	0,884	0,847	0,814	0,664	0,540	0,440	0,358	0,128
8″	197,99	24,98	0,969	0,938	0,909	0,881	0,863	0,728	0,621	0,530	0,452	0,205
9″	252,90	28,10	0,975	0,952	0,928	0,905	0,883	0,780	0,689	0,608	0,537	0,289
10″	312,22	31,22	0,960	0,965	0,941	0,923	0,904	0,818	0,739	0,669	0,605	0,366
11″	380,91	34,34	0,984	0,968	0,952	0,936	0,921	0,848	0,781	0,719	0,662	0,438
12″	449,60	37,46	0,986	0,972	0,959	0,946	0,932	0,870	0,811	0,756	0,705	0,497

Il y a quelques autres données dont il est utile ou curieux d'avoir la valeur. On trouvera plus loin le calcul du rapport entre la poussée minimum et la poussée maximum sur des vagues de diverses inclinaisons. Voici le tableau du travail total de la pesanteur et de la force d'inertie qui est dépensé pour produire une vague et qui serait restitué par elle si elle était ramenée au repos : ce travail correspond à une tranche de 1^m de large dans le sens des génératrices ; le poids spécifique δ du liquide est supposé égal à 1 :

L	h	T	Travail de la pesanteur égale à la force vive $\mathfrak{T}_p = \mathfrak{T}_i$	Total en chevaux $\frac{\mathfrak{T}_p + \mathfrak{T}_i}{75\ T}$
			K. M.	
80^m	4^m	2″, 536	355,6	$3^{ch.}$,74
160	8	7″, 159	2528,4	9 ,42
320	16	10″, 123	20227,4	53 ,28

Dans ce tableau, le rapport de la hauteur à la longueur est supposé constamment égal à 0,05, mais, comme on le verra plus loin, une pareille inclinaison n'est pas atteinte par les vagues de 320^m de demi-longueur; si, pour $L = 320^m$, on suppose seulement $h = 8$, on trouve

L	h	T	$\mathfrak{T}_p = \mathfrak{T}_i$	$\frac{\mathfrak{T}_p + \mathfrak{T}_i}{75\ T}$
			K. M.	
320	8^m	10″,12	5104,0	$13^{ch.}$,45

Voici enfin quelques valeurs de la vitesse absolue u de l'eau à la surface, calculées à l'aide de la formule

(11 bis) : ce tableau est intéressant à consulter pour juger des efforts alternatifs auxquels le gouvernail peut être soumis par mauvais temps, sur un grand navire qui, recevant la mer debout ou par l'arrière, ne participe que d'une manière très-imparfaite au mouvement de translation circulaire de l'eau.

$\frac{h}{L}$	Valeurs de u en mètres par seconde pour les valeurs de T ci-dessous									
	1″	2″	3″	4″	5″	6″	7″	8″	9″	10″
0,025	$0^{m}24$	$0^{m}49$	$0^{m}73$	$0^{m}98$	$1^{m}22$	$1^{m}47$	$1^{m}72$	$1^{m}96$	$2^{m}20$	$2^{m}45$
0,05	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43	3,92	4,41	4,90
0,10	0,98	1,96	2,94	3,92	4,90	5,89	6,87	7,85	»	»
0,15	1,47	2,94	4,41	5,89	7,36	»	»	»	»	»

D'après ce tableau et les données d'observation rapportées plus loin, le maximum absolu de u peut être fixé à 15 nœuds environ.

Le mouvement défini par les équations qui précèdent présente cette propriété particulière, que toutes les couches de niveau y coïncident avec les couches horizontales ; la pression P est fonction de z et indépendante de t. De plus, ce mouvement constitue les seules ondes courantes pouvant être exprimées pour les équations

$$x = F\,(z, t),$$

$$y = F_1\,(z, t),$$

qui jouissent de cette propriété. En effet, la coïncidence

des couches horizontales et des couches de niveau s'exprime par les deux équations

$$\text{(G)} \qquad \frac{dx}{dt}\frac{d^2x}{dt^2} + g\frac{dy}{dt} + \frac{dy}{dt}\frac{d^2y}{dt^2} = 0,$$

$$\text{(I)} \qquad \frac{dy}{dt}\frac{d^2x}{dt^2} + g\frac{d^2x}{dt^2} - \frac{dx}{dt}\frac{d^2y}{dt^2} = 0,$$

qui peuvent être intégrées et qui conduisent directement aux équations (1).

On pouvait admettre à priori que, dans un milieu de profondeur infinie, la coïncidence des couches horizontales et des couches de niveau, qui a lieu pour une infinité de couches situées à une profondeur suffisamment grande, et qui a lieu aussi à la surface, doit exister pour toutes les couches. Le résultat de l'intégration des équations (G) et (I) prouve que réciproquement la profondeur infinie est une condition nécessaire pour que cette coïncidence ait lieu.

16. — Toutes les houles qui satisfont aux équations précédentes peuvent exister dans une mer considérée comme infinie en profondeur et en étendue, en ce sens que l'existence d'aucune d'elles n'est contraire aux propriétés physiques des fluides. Mais pour que ces houles puissent réellement se rencontrer, il faut de plus qu'il y ait eu une cause capable de les produire, et, comme la théorie n'embrasse pas la formation même des vagues, c'est-à-dire l'action du vent sur l'eau, il reste à déterminer par l'observation qu'elles sont, parmi les houles phy-

(1) Voir le *Compl. à l'Étude*, n° 6.

siquement possibles, celles que le vent est capable de soulever.

Toutes les données que l'on peut désirer avoir sur les vagues sont déterminées par la théorie en fonction de L et de h; mais, d'une part, la longueur reste complètement arbitraire, et de l'autre, la hauteur pour une longueur donnée, ou en un mot l'inclinaison, n'est soumise qu'à la seule condition

$$(26) \qquad \frac{\pi h}{L} < 1,$$

imposée par l'impénétrabilité de la matière. L'expérience, qui, sur ce point, précédera nécessairement la théorie, peut seule faire connaître les limites extrêmes de la longueur et de l'inclinaison.

Il est certainement difficile d'assigner les limites extrêmes dans des phénomènes aussi variables que ceux de la mer; un observateur ne peut jamais prétendre avoir rencontré la plus longue, la plus haute ou la plus inclinée de toutes les houles du monde. Cependant, en compulsant un nombre considérable d'observations faites avec soin, on doit en rencontrer qui se rapprochent beaucoup des *maxima* cherchés.

Comme exemple de houle extrêmement longue, je citerai la houle observée dans l'Atlantique nord, près de l'équateur, vers 30° de longitude, par M. le capitaine de vaisseau Mottez, laquelle avait 11",5 de demi-durée, soit 412^m de demi-longueur (1). J. Clark Ross a observé en

(1) *Du roulis*, par A. Mottez, Cherbourg, 1836, p. 12. Les coordonnées du lieu m'ont été données par l'auteur.

1842, dans l'Atlantique Sud, des vagues auxquelles il attribua 45^{m},8 de vitesse, ce qui correspondrait à près de 14″ de demi-durée d'après l'équation (10); mais comme la demi-longueur qu'il indique est de 291^{m} seulement, il faut que l'une des deux données soit inexacte (1). Dans les mers d'Europe, les plus grandes houles observées sont celle à laquelle Wollaston a reconnu 30^{m},8 de vitesse, soit, d'après la formule (10), 9″,86 de demi-durée (2), et celle du golfe de Gascogne indiquée par le *Guide du marin*, qui avait 200^{m} de longueur et 21^{m} de vitesse (3), nombres dont le quotient donne 9″,5 pour la demi-durée T, si celle-ci a été mesurée pour obtenir la vitesse. Les demi-durées de plus de 9″, et par suite les demi-longueurs de plus de 250^{m} sont très-rares : ce sont les plus grandes qui aient été observées pendant le voyage de l'*Astrolabe* (4) et pendant la campagne de M. A. Pâris sur la *Minerve* et le *Dupleix* (5). Dans l'état actuel des connaissances, on peut adopter 12″ comme limite extrême des demi-durées et 450^{m} comme limite extrême des demi-longueurs.

La hauteur maximum a été l'objet de discussions beaucoup plus vives que celles qui ont porté sur la longueur :

(1) J. Clark Ross, *A voyage of discovery etc.*, Londres, 1847, p. 30, 32, cit. par A. Cialdi, n° 471. *Sul moto ondoso.*

(2) Cité par A. Cialdi, n° 442, d'après Horsburgh.

(3) Guide du marin, T. II, p. 316-17. J'ai déjà cité cette observation dans mon *Complément.*

(4) Coupvent-Desbois, *Comptes rendus de l'Académie des sciences* de Paris, 1866, p. 83 ; cité par A. Cialdi, p. 643.

(5) *Revue Maritime*, T. XXXI, *Observations sur l'état de la mer recueillies à bord du Dupleix et de la Minerve*, par M. A. Pâris. L'auteur a bien voulu me communiquer le détail de ses m yennes jour par jour.

la hauteur est l'élément auquel, de prime abord, on s'intéresse le plus, et celui sur lequel, à défaut de mesure, on risque le plus facilement une simple évaluation. Les opinions ont singulièrement varié : on garde le souvenir du débat soulevé en 1837 entre Arago, qui adoptait comme limite les hauteurs de 6^m à 8^m, et Dumont-d'Urville, qui prétendait en avoir vu de 100 pieds dans le sud du cap de Bonne-Espérance. Comme mesures présentant des garanties sérieuses, il faut prendre celles de Missiessy qui, en 1841, sur les bricks le *Sylphe* et le *Cerf*, naviguant de conserve, a rencontré une mer énorme où la hauteur totale $2h$ atteignait de 13 à 15^m (1). Avec deux bâtiments se fournissant également des repères l'un à l'autre, Wilkes, prés de Madère en 1839, et M. Cialdi, en 1858, dans les parages d'Ouessant, ont mesuré des hauteurs totales, le premier de 9^m,75, le second de 10^m,25 (2). En opérant sur un seul navire, et en s'élevant dans les haubans pour viser l'horizon, Scoresby a mesuré des hauteurs totales de 13^m (3) et M. A. Pâris en a mesuré de 11^m,50, les plus grandes à peu près qu'il ait rencontrées pendant sa campagne (4). Les vagues de plus de 4^m de demi-hauteur sont certainement très-peu fréquentes ; celles de plus de 6^m sont si rares que les marins n'en rencontrent pas tous dans le cours de leur carrière ; on est

(1) Cité par A. Cialdi, d'après Arago, *Œuvres complètes*, Paris 1857, T. IX p. 550.

(2) Wilkes, *Narrative of the United States exploring expedition*. Philadelphie 1845, T. I. p. 134. — A. Cialdi, *Sul moto ondoso*, n° 436, 449.

(3) Scoresby, *On Atlantic waves*, Londres, 1851, p. 23-31 ; cité par A. Cialdi, n° 481.

(4) *Revue maritime*, T. XXXI. *Observations sur l'état de la mer*, etc. — p. 122.

certain, en adoptant 8^m pour maximum de *h*, d'être au-dessus de toutes les valeurs observées.

Je rappelle une fois de plus que je ne parle que des vagues du large et de celles qui appartiennent à une seule houle. Un rocher isolé, de 25 ou 30^m de haut, peut être couvert par la mer qui brise : des vagues appartenant à des houles différentes peuvent se superposer, en donnant lieu, soit à des lames clapoteuses dépourvues de vitesse et de durée, soit à toute autre agitation irrégulière et monstrueuse que l'on peut imaginer, au centre d'un cyclône par exemple : ce n'est plus là le phénomène simple dont il s'agit dans ce chapitre.

La connaissance des dimensions habituelles et de la durée moyenne des vagues est aussi du pur domaine de l'observation, et elle présente plus d'intérêt encore, au point de vue de la navigation, que celle des dimensions maxima. La durée moyenne des vagues constitue sur une mer donnée, la durée de roulis la plus défavorable que puissent avoir les navires destinés à naviguer sur cette mer. Ce principe, assez important pour les paquebots qui doivent tenir un grand compte des commodités habituelles de la navigation, doit être surtout pris en considération pour les navires de guerre qui ont besoin d'avoir leurs plus belles qualités, par temps ordinaire, par temps de combat, et qui doivent alors pouvoir se servir commodément de leur artillerie, sous le plus grand nombre d'allures possible. Les constructeurs de navires ont donc grand besoin de connaître la durée moyenne des vagues.

M. le lieutenant de vaisseau A. Pâris a, chaque jour, observé à plusieurs reprises l'état de la mer pendant une campagne de plus de deux ans sur la *Minerve* et le *Dupleix* : prenant la moyenne des relevées de chaque

journée, et ensuite celle des journées d'une même région, il a dressé un tableau, dont l'extrait suivant constitue la meilleure donnée que l'on puisse citer sur la durée moyenne des vagues (1).

INDICATION DES RÉGIONS.	Demi-durée moyenne T.
Alisés de l'Atlantique	2",90
Atlantique Sud (région des vents d'Ouest)	4",75
Mer des Indes Sud (région des vents d'Est)	3",80
Alisés de la Mer des Indes	3",80
Mers de la Chine et du Japon	3",45
Pacifique Ouest	4",10

Ce n'est là, sans doute, sur l'état moyen de la mer, qu'une ébauche à compléter et à contrôler par de nouvelles recherches; mais, la mesure de ce que l'on peut faire en une seule campagne, étant ainsi donnée, et l'importance du sujet étant une fois bien comprise, on peut compter sur de nouvelles études.

17. — Les observations, en se multipliant, permettront de classer les mers, au point de vue de la houle, en régions nettement délimitées (2). Il conviendra d'adop-

(1) *Revue maritime*, t. XXI, p. 119.

(2) Parmi les documents déjà publiés sur l'état de la mer, l'un des plus intéressants est le *Mémoire sur la hauteur des vagues*

ter des divisions assez vastes pour que chacune d'elles embrasse la totalité ou du moins une fraction notable d'une traversée ordinaire de navire, et pour que, d'une région à l'autre, la durée moyenne des vagues présente une variation sensible, une demi-seconde par exemple: mais il faudra d'un autre côté que, dans l'intérieur d'une même région, la durée moyenne n'offre pas de différences trop marquées. Il faut, pour différentier les houles entr'elles, choisir comme élément carastéristique la durée T, non seulement parce que c'est l'élément le plus intéressant, au point de vue de la construction des navires, mais encore parce que c'est l'élément vraiment caractéristique, puisque, quand la houle s'éteint, la longueur

à la surface des Océans, dans lequel M. le vice-amiral Coupvent-Desbois a résumé les observations sur la mer, faites pendant le voyage de l'*Astrolabe*.

Ce Mémoire indique, pour les vagues, une hauteur moyenne à peu près indépendante de la latitude et variant au contraire avec la longitude: ainsi la hauteur serait dans le Pacifique, plus grande à l'Est qu'à l'Ouest, et dans l'Atlantique, plus grande à l'Ouest qu'à l'Est, de sorte que l'Amérique serait, sur ses deux rivages, le continent exposé aux plus grosses mers: dans la mer des Indes, la partie centrale serait la plus agitée. La moyenne générale des hauteurs de vagues relevées loin des côtes serait de 2^m.

Les divisions de l'Océan adoptées dans ce mémoire sont surtout multipliées dans le sens de la longitude: chaque région embrasse 30° seulement en longitude dans le Pacifique et 20° seulement dans l'Atlantique.

Si la durée des vagues avait été mesurée avec le même soin que la hauteur, il y aurait là, pour le sujet qui nous occupe, un document plus précieux encore, en raison de son étendue, que le mémoire de M. Pâris.

Voir *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, Paris, 1866, T. XLII, p. 82-87.

reste constante, tandis que la hauteur va en diminuant. La division naturelle de la mer, au point de vue de la houle, semble devoir présenter une assez grande analogie avec celle de la mer, au point de vue des vents, sur laquelle se guide la navigation à voiles; les principaux vents régnants qui se distinguent à la surface du globe d'après leur direction diffèrent en effet les uns des autres par leur intensité. Toutefois, comme le mouvement des vagues est soumis à des influences secondaires mais encore importantes, telles que la configuration géographique, la profondeur du fond, la fréquence des sautes de vent, etc., la géographie de la mer au point de vue de la houle ne peut résulter que d'observations spéciales.

En attendant une division naturelle qui ressortira des expériences, il est important, pour classer les observations, de se donner comme point de départ, un partage provisoire de l'Océan, en s'aidant des cartes marines qui indiquent les vents dominants, telles que celles publiées récemment sous la direction de M. le capitaine de vaisseau Lartigue.

On trouve des divisions qui se présentent d'elles-mêmes dans les zônes séparées par des parallèles, qui constituent, sur les deux hémisphères, les régions des vents d'Ouest, des vents alizés et des vents intermédiaires irréguliers. Ces zônes ne sont pas exactement les mêmes sur les deux hémisphères et, dans chacun d'eux, elles varient un peu suivant la saison; toutefois, en prenant la moyenne pour l'Atlantique et le Pacifique, et pour l'été et l'hiver, on peut, avec une exactitude suffisante pour les premières recherches, adopter les lignes de partage suivantes, à peu près équidistantes.

Lignes de partage.			Caractère des zônes.
Parallèle de	55°	Nord	
			Région des vents d'Ouest N.
Id.	40°	id.	
			Région intermédiaire N.
Id.	25°	id.	
			Région des vents alisés N.
Id.	8°	id.	
			Région équatoriale.
Id.	8°	Sud.	
			Région des vents alisés S.
Id.	25°	id.	
			Région intermédiaire S.
Id.	40°	id.	
			Région des vents d'Ouest S.
Id.	55°	id.	

La division de ces sept zônes par des méridiens est plus difficile à tracer *a priori* avec quelques probabilités de s'approcher du partage définitif. En cherchant à donner à toutes les régions des étendues peu différentes, on se trouve conduit à laisser aux zônes de l'Atlantique toute leur largeur d'un continent à l'autre, à diviser en deux celles de l'Océan indien par le méridien de 75°, à diviser en trois celles du Pacifique, par les méridiens de 120° et 165° Ouest.

La Méditerrannée, le golfe du Mexique, la Mer de Chine forment naturellement trois divisions à part; la Mer du Japon en fait une quatrième moins importante.

Comme la Mer des Indes ne comprend que les 5 zônes méridionales, et le Pacifique à l'Est du méridien 120° O les quatre zônes méridionales seulement, ce partage donne en tout 39 compartiments, dont 7 pour l'Atlantique, 10 pour la Mer des Indes, 18 pour le Pacifique et 4 pour les mers particulières; je proposerais son adoption

pour envelopper la mer dans un premier réseau, sauf à diminuer plus tard le nombre des grandes divisions du Pacifique et de la Mer des Indes.

On pourrait, à la vérité, indiquer dès à présent, quelques changements probables pour l'avenir, dans ces lignes de démarcation : la zône équatoriale, caractérisée par des calmes, est toute entière au Nord de l'Equateur dans l'Atlantique, et paraît au contraire rester au Sud de la ligne dans le Pacifique : elle cesse complètement entre certains méridiens, et par exemple, en hiver elle est interrompue dans l'Atlantique à l'O. du méridien de 30° O. : la limite N. et S. des vents alisés s'écarte aussi pour certaines mers, de 2° ou 3°, de la moyenne adoptée. Néanmoins, comme il ne s'agit ici que d'un partage provisoire, et comme les limites de l'agitation de l'eau ne peuvent concorder exactement avec celles des vents qui la produisent, il vaut mieux négliger d'abord les petites anomalies, et s'en tenir aux divisions moyennes qui ont l'avantage d'une grande simplicité.

Les mers polaires, au delà de 55° de latitude, restent en dehors des études proposées, comme offrant peu d'intérêt pour la navigation.

L'étude des grandes régions ne devrait point faire négliger celle des subdivisions locales qu'il conviendrait d'adopter pour connaître en détail les mers qui offrent un intérêt particulier, en raison des routes maritimes qui les sillonnent, et celles dont le calme ou l'agitation présente quelques caractères remarquables (1). Toutes les mers d'Europe doivent être réservées pour une étude spéciale :

(1) Comme théâtre d'une agitation extraordinaire, on peut citer le banc des Aiguilles, les environs du cap Horn et de la terre des Etats, la zône de l'Atlantique comprise entre le méridien des

dans la région équatoriale, il faudra distinguer exactement les parties réellement calmes : toutes les parties voisines des côtes doivent faire l'objet de recherches distinctes embrassant l'étude des courants et celle de l'acuité des vagues, pour faire ressortir l'influence du fond et du rivage dont il sera question au chapitre suivant.

Il est à remarquer que les subdivisions locales, qui sont très-importantes pour la navigation et dont l'étude pourra faire dévier quelques navires à vapeur de leur itinéraire direct, offrent au contraire peu d'intérêt pour le constructeur de navires : ce qu'il faut à ce dernier, ce sont seulement les données moyennes par grandes régions.

18. — L'étude géographique de la houle, c'est-à-dire le relevé des dimensions *maxima* et des dimensions moyennes des vagues pour les diverses régions du globe, ne suffit point pour faire connaître les lois du phénomène. Afin de bien comprendre les faits observés et de pouvoir, par suite, discuter les résultats obtenus, il faut à cette étude géographique, joindre ce que l'on peut appeler l'observation mécanique de la houle, c'est-à-dire l'observation du vent qui la produit et le rapport qui existe entre les dimensions des vagues et la vitesse du vent qui les soulève.

L'étude des vents moyens, pour chaque région, est arrivée déjà à un assez haut degré de perfection ; il suffirait à la rigueur d'y joindre l'étude des vagues, pour avoir les deux termes de la comparaison à établir. Mais il est beau-

Açores et celui de Terre-Neuve, surtout du côté de l'Amérique, etc., etc.

Les caractères de la mer n'étant point les mêmes sur les deux rives de l'Atlantique, il conviendrait de partager chaque grande région de cet Océan en deux subdivisions.

coup plus intéressant de faire les deux observations à la fois et de pouvoir directement mettre en regard de chaque brise la houle qui lui correspond. M. Pâris, saisissant toute l'importance de ce côté de la question, a donné à l'aide de ses observations, un tableau comparatif du vent et de la mer : il n'a malheureusement pas pris assez garde à ce qu'une houle n'est pas nécessairement le résultat du vent qui souffle au même point et au même instant, circonstance qui exige une grande circonspection de la part de l'observateur ; son tableau (1) ne peut être accepté comme l'expression d'une loi physique, puisqu'il s'y rencontre des vagues plus rapides, à en juger par leur longueur, que le vent correspondant, ce qui serait aussi impossible que des vagues dirigées en sens inverse du vent qui les produit. M. le vice-amiral Coupvent-Desbois a cherché une relation entre la hauteur des vagues et la vitesse du vent ; mais il n'a pu la découvrir dans les observations de l'*Astrolabe*, et le tableau qu'il a dressé en supposant que le cube de la hauteur des vagues est proportionnel au carré de la vitesse du vent, ne peut être accepté que sous bénéfice d'une vérification expérimentale. La question reste donc entière (2).

La longueur et la hauteur des vagues sont, l'une et l'autre, fonction du vent. Considérons, en effet, dans la mer infinie que nous supposons, la houle parvenue à un état permanent et invariable ; le travail de la pesanteur et de la force d'inertie dans le liquide sont devenus nuls ; le travail résistant des forces moléculaires est égal au travail

(1) Revue maritime T. XXXI, p. 121. Je reproduis ce tableau au paragraphe suivant pour un autre objet. Voir aussi, p. 127, un tableau des vitesses des vagues comparées, aux racines carrées des vitesses du vent.

(2) Mémoire cité de M. Coupvent-Desbois, vers la fin.

moteur du vent. Le travail moléculaire ne dépend que de L et de h; l'action du vent dépend des deux mêmes données et de la vitesse relative V — U du vent par rapport à la houle; il y a donc, entre ces trois éléments, une relation forcée, et de plus, parmi les diverses houles qui peuvent y satisfaire, celle-là tendra à se produire, dont la vitesse U diffère le moins de V et pour laquelle par suite le travail moléculaire à vaincre, égal au travail du vent, sera le moindre. Tous les éléments sont donc naturellement déterminés en fonction de V (1), ce que l'on pouvait d'avance regarder comme évident.

Certaines observations, faciles à imaginer sinon à faire, pourraient faire connaître la valeur des termes de l'équation qui lie le vent à la houle, et donneraient ainsi l'analyse, pour ainsi dire expérimentale, de la formation des vagues. Ainsi, en suivant la décroissance par temps calme d'un certain nombre de houles de longueurs différentes, on pourrait en déduire la valeur du travail moléculaire égal, dans ce cas, au travail moteur de la pesanteur et de la force d'inertie: connaissant ce travail moléculaire, on aurait ensuite le travail produit par le vent, soit en observant des houles à l'état permanent, soit en suivant l'accroissement d'une houle qui se forme, puisque

(1) Dans ces fonctions, de faibles changements entre les relations qui doivent s'établir entre le vent et l'état de la mer se manifestent par un changement notable dans la forme des vagues. Si, par exemple, il règne un courant de vitesse v, la vitesse relative du vent et des vagues est $V - (U + v)$; la vitesse U qui correspond à l'état permanent change; elle augmente si U et v sont de sens contraire; elle diminue s'ils sont de même sens: dans le premier cas, la mer devient beaucoup plus haute relativement à sa longueur; elle est manifestement plus dure pour les navires, quoique v ne soit qu'une faible fraction de U.

le travail résistant de la pesanteur et de l'inertie pour une certaine augmentation des dimensions sont faciles à calculer.

L'étude du temps nécessaire à chaque houle pour atteindre son état invariable et permanent sous l'action du vent qui la produit est aussi fort intéressante. Si ce temps était tellement long qu'il dépassât, en général, celui pendant lequel le vent peut rester à peu près constant en intensité et en direction, tout l'intérêt de la recherche d'une relation entre le vent et la houle définitive s'évanouirait ; la longueur des vagues et leur inclinaison pour une longueur donnée seraient livrées à tous les hasards des variations météorologiques. Si, au contraire, les vagues parviennent assez vite à leur état définitif, ce qui paraît bien établi puisque les mers exposées à l'action de vents constants ne présentent pas une agitation extraordinaire, on se trouve forcément en présence de cette loi que, pour chaque longueur de vagues, il y a une certaine hauteur qui se rencontre le plus fréquemment et qui ne peut être dépassée : la limite imposée aux ondes courantes en général,

$$(26) \qquad \pi \frac{h}{L} < 1,$$

est remplacée, pour les vagues de la mer en particulier, par une certaine condition

$$(26 \text{ bis}) \qquad \pi \frac{h}{L} < F(L),$$

qui résulte, non plus des propriétés des liquides, mais de l'action du vent sur l'eau, et qui ne peut être déterminée que par l'observation.

La relation (26 bis) entre l'inclinaison maximum et la longueur des houles est très-importante à connaître au point de vue de l'architecture navale, puisque, d'après elle, il est moins dangereux pour les navires d'avoir leurs roulis isochrônes avec certaines houles, qu'avec certaines autres plus inclinées que les premières : on retrouve ainsi, dans une étude que l'on aurait pu croire consacrée aux vagues seules, une conséquence d'une application immédiate à la construction des navires.

Les plus grandes inclinaisons dont j'ai trouvé l'indication pour diverses longueurs de vagues sont les suivantes. Sur les vagues de quelques mètres de longueur relevées dans l'Iroise avec le trace-vagues de MM. Pâris, le rapport de h à L atteint 0,16. Sur les vagues de 52^m et de 50^m de demi-longueur relevées près du cap de Bonne-Espérance par un observateur anglais, ce rapport est encore de 0,122 et de 0,127. Pour des vagues de 75^m de demi-longueur, il n'est plus que de 0,065, d'après une observation de M. Cialdi, et ce dernier nombre se rapproche de celui de M. Dubil de Bénazé qui a trouvé 0,060 pour une vague de 70^m. Pour les vagues de 85^m de demi-longueur, on ne trouve plus que le rapport 0,052 indiqué par Scoresby. Pour les vagues atteignant la longueur extrême de 450^m, la valeur du rapport de h à L ne serait que de 0,02 environ, s'il est vrai, comme je l'ai admis, que les plus grandes valeurs de h ne dépassent pas 8^m.

D'un autre côté, il semble probable que la loi suivant laquelle le rapport de h à L diminue quand L augmente, telle qu'elle ressort des nombres précédents, est trop rapide. La décroissance de l'inclinaison doit se retrouver en effet, bien qu'atténuée par la confusion avec les houles en voie de décroissance, sur les résultats moyens publiés par M. A. Pâris : or, en groupant toutes les moyennes de

chaque journée d'après la longueur, chaque groupe comprenant les longueurs qui correspondent à des différences de durée de moins d'une demi-seconde, et en faisant dans chaque groupe une moyenne des longueurs et des hauteurs, on obtient le tableau suivant (1) :

Nombre de jours d'observations	Moyenne des longueurs L	Moyenne des hauteurs h	Rapport. $\frac{h}{L}$	Moyenne.
23	24ᵐ	0,9	0,037	0,0365
33	33	1,4	0,036	
34	45	1,65	0,036	0,0350
18	57,5	2,00	0,034	
6	69,5	2,25	0,032	0,0325
5	85	2,85	0,033	
2	111	2,25	0,020	

Il ne saurait être tenu compte de la dernière colonne horizontale qui comprend deux observations seulement pour lesquelles les hauteurs étaient plus petites que sur des vagues moins longues; pour les six autres colonnes, la décroissance de l'inclinaison, bien que continue, est très-peu marquée.

Quoiqu'il en soit, je considérerai, dans l'étude du roulis, d'après l'ensemble des observations connues, trois valeurs différentes de l'inclinaison maximum des vagues, correspondant aux rapports 0,05, 0,10 et 0,15 de la hau-

(1) Extrait des minutes des observations, que M. A. Pâris a bien voulu me communiquer.

teur à la longueur : je supposerai que la première n'est jamais atteinte sur les très-longues houles, mais qu'elle se rencontre sur les houles de 6″ à 7″ isochrônes avec les roulis d'un grand nombre de navires ; je supposerai que la seconde peut encore exister sur des houles assez longues pour être prises en considération dans l'étude du roulis ; je supposerai que la troisième ne peut se trouver que dans des mers exceptionnellement courtes et dures et doit être regardée comme une limite extrême.

19. — La théorie et l'observation ne peuvent jamais, comme on le voit, être séparées dans l'étude des vagues ; non-seulement elles se complètent l'une par l'autre, mais elles se prêtent encore, dans leur domaine particulier, un appui réciproque. Sans l'équation (8), le relevé des dimensions des vagues serait difficile, et, d'un autre côté, la théorie n'aurait eu que peu de valeur, si l'observation n'était venue montrer l'exactitude de l'équation (8) : la vérification de cette relation entre la longueur et la durée, mérite d'être continuée par les observateurs, afin de bien faire son degré de précision (1).

Comme la théorie, en analysant la houle, ne tient pas compte des causes qui la produisent, il serait possible que la vitesse théorique U fût un peu moindre que la vitesse réelle de propagation, ce qui se manifesterait par une diminution de la durée T ; les longueurs observées L seraient plus grandes que les longueurs théoriques L′. Dans les observations du Cap de Bonne-Espérance, que j'ai citées (2), une différence de ce genre se manifeste en

(1) Au sujet de cette vérification, voir le n° 16 de l'*Etude sur la houle et le roulis* et le n° 9 du *Complément*.

(2) *Complément à l'étude*, n° 9.

effet et l'on trouve à peu près

$$\frac{L - L'}{L} = \frac{1}{7}.$$

J'aurais voulu étudier à ce point de vue les observations de M. A. Pâris; mais les tableaux qu'il a dressés ne donnent que des moyennes, et, dans les minutes, il n'a conservé que les moyennes pour une journée; or, les résultats moyens ne peuvent servir pour la comparaison entre certaines données et le carré de certaines autres, parce que le carré d'une moyenne n'a aucun rapport avec la moyenne des carrés des nombres primitifs. Je dois faire remarquer, cependant, comme une coïncidence curieuse, que, dans le tableau des dimensions des vagues classées d'après l'intensité du vent, les valeurs de L sont toujours supérieures à celles de L' et que la différence est à peu près en moyenne le septième de L : on trouve en effet (1)

	Vitesse du vent.	Demi-hauteur moyenne h	Demi-longueur observée L	Demi-longueur théorique $L' = \frac{gT^2}{\pi}$	Rapport $\frac{L - L'}{L}$
Très-grosse mer	28m5	3,88	74	58	0,22
Grosse mer....	20,0	2,52	53	45	0,15
Mer dure......	13,4	1,77	38	30	0,27
Grosse houle...	9,2	2,05	60	59	0,01
Houle	5,9	1,20	39	33	0,15
Belle mer......	5,7	0,80	31	25	0,19
Moyenne.......	......	......	....	....	0,165

(1) Revue maritime T. XXXI, p. 121.

Il convient de remarquer sur ce tableau, que la vérification de l'équation (8) se fait beaucoup mieux, pour les trois dernières sortes de houle, qui étaient des houles de calme en voie de s'éteindre, que pour les trois premières qui étaient accompagnées vraisemblablement du vent qui leur correspond.

D'un autre côté, la supériorité de L sur L′ ne se retrouve pas dans un grand nombre d'autres observations faites sur des houles de vent et, en particulier, dans celles de Wilkes et de Scoresby (1).

M. Duhil de Bénazé a fait diverses mesures de vagues pendant la campagne de l'*Astrée* en 1870, et il a trouvé la plupart du temps L plus petit que L′, comme l'indique le tableau suivant (2)

DEMI-LONGUEUR		RAPPORT	Observations.
observée L	calculée L′	$\frac{L - L'}{L}$	
52,5	53,4	— 0,017	»
90	83,4	0,067	»
75	57,1	0,237	Coup de vent.
48	49,9	— 0,039	»
70	75,0	— 0,071	»
130	146,0	— 0,123	Presque calme.
67,5	70,5	— 0,044	»

Il y a sans doute, dans ce tableau, des valeurs de L trouvées plus petites que L′ pour des houles de vent ; mais il

(1) *Complément à l'étude*, nº 9.

(2) *Etude du roulis sur mer agitée*, Brest 1871, chez Gadreau, p. 43. Il est à noter que M. de Bénazé, dans ses observations, se proposait d'avance la vérification de l'équation (8).

est à remarquer, d'un autre côté, que le seul cas où L soit notablement supérieur à L' est signalé comme correspondant à un coup de vent, tandis que celui où L' est relativement le plus faible correspond à une houle de calme.

On peut regarder comme encore douteuse l'existence d'une accélération du mouvement de propagation des vagues due à l'action du vent; cette accélération peut, tout au moins, être considérée comme assez faible pour que l'équation (8) dispense de l'observation de la longueur L dans les mers très-profondes.

La durée T peut être obtenue à l'aide de l'oscillographe double destiné à la mesure simultanée des vagues et du roulis, qui relève à chaque instant l'inclinaison des vagues projetée sur le plan transversal du navire. L'emploi de cet instrument de précision, lors même qu'il viendrait à se généraliser, n'ôterait d'ailleurs rien de leur mérite aux anciens modes d'observation, car l'oscillomètre double ne peut donner de bonnes indications que pour de grosses houles régulières reçues par le navire, dans une direction assez peu éloignée du travers; les relevés de l'oscillographe ont encore besoin, d'ailleurs, d'être contrôlés par l'observation directe.

Dès que la mer présente des ondulations capables de produire des roulis notables, on peut compter le nombre de vagues qui passent en un temps donné, en s'aidant, au besoin, d'un flotteur remorqué à l'extrémité d'une longue ligne, de manière que l'on puisse suivre ses mouvements de descente et de montée, par rapport à l'horizon, sans être trompé par ceux du navire. La durée T_1 ainsi observée, doit subir une correction, en raison de la vitesse du navire: soient, en effet, T la demi-durée réelle, L la demi-longueur, U la vitesse réelle, U_1 la vitesse relative par rapport au navire, quantités toutes inconnues;

soient de plus V la vitesse du navire et Ω l'angle du cap avec la direction de la houle ou de V avec U, quantités connues ainsi que T : on a

$$U = U_1 + V \cos \Omega;$$

on a aussi

$$U = \frac{L}{T}, \quad U_1 = \frac{L}{T_1}, \quad L = \frac{gT^2}{\pi}.$$

On tire de là, en substituant et simplifiant,

$$T^2 - T_1 T + \frac{\pi}{g} VT_1 \cos \Omega = 0,$$

d'où

$$(27) \qquad T = \frac{T_1}{2} \pm \sqrt{\frac{T_1^2}{4} - \frac{\pi}{g} VT_1 \cos \Omega},$$

le signe + devant être pris pour $\Omega < 90°$, et le signe — pour $\Omega > 90$; la vitesse V, dans cette équation, est comptée en mètres par seconde.

A cette mesure de la durée, il est toujours facile de joindre celle de la hauteur, dès que les vagues sont assez hautes pour pouvoir cacher l'horizon, au moment où le navire est dans un creux, aux yeux d'un observateur placé, soit à une ouverture de la coque, soit à une certaine hauteur dans les enfléchures. Les vagues sont ainsi complètement connues.

Si, à ces observations, l'on veut joindre celle de la longueur et de la vitesse pour vérifier les formules, il faut filer un flotteur à la remorque pour se donner à l'extérieur une base de longueur connue; on mesure ensuite,

soit la longueur de ligne nécessaire pour que le navire et le flotteur se trouvent au même instant sur deux sommets voisins, soit le temps qu'un sommet de vague met à parcourir une longueur de ligne connue.

Lorsque deux bâtiments naviguent de conserve, ils se donnent réciproquement des bases pour la mesure très-exacte de la longueur, de la vitesse et même de la hauteur des vagues.

La Société des Sciences naturelles de Cherbourg accueillerait dans ses Mémoires toutes les recherches pouvant aider à coopérer au progrès de la géographie de la mer sous le rapport de la houle, ou à l'étude des lois mécaniques de ce phénomène. Les observations isolées ou trop peu importantes pour faire l'objet d'un article particulier, seraient classées avec soin, pour prendre place dans les travaux de récapitulation (1).

Les résultats les plus précieux sont sans doute ceux qui pourraient être obtenus sur les lignes de paquebots; car les observations régulières et continues doivent fournir bien vite des moyennes exactes, dégagées des circonstances de pur accident, et l'on aurait au bout de peu d'années les *maxima* et les moyennes qui s'appliquent soit à chaque saison soit à l'année tout entière.

Les documents sur l'état de la mer, accumulés jusqu'ici en masses considérables dans les journaux de bord des navires de guerre et des paquebots, ne pourraient pas être facilement utilisés, parce que l'on ne peut pas traduire par des chiffres les indications telles que *grosse mer*, *mer houleuse*, etc. Pour les vents, les indications ont une valeur plus précise et plus constante d'un observateur à l'autre. En supposant que l'on parvînt à connaître

(1) Décision adoptée dans la séance du 9 Décembre 1872.

l'état de la mer en fonction de l'intensité du vent, certaines données sur la mer pourraient se déduire des anciens journaux de bord; mais elles ne seraient propres qu'au tracé d'une division provisoire de la mer, et ce résultat ne paierait point suffisamment les efforts nécessaires pour l'obtenir.

III.

DE L'INFLUENCE DU FOND ET DU RIVAGE SUR LE MOUVEMENT DES VAGUES.

20. — La question de l'influence si visible que le fond exerce sur les mouvements ondulatoires de la mer, n'a été complètement élucidée, ni par le calcul, ni par l'observation, et l'on ne peut donner, surtout pour le cas des très-petites profondeurs, que l'indication des phénomènes généraux, de leur importance, de leurs causes probables. Je commencerai par le cas où la profondeur, bien que limitée, est encore considérable.

Il faut remarquer d'abord que les équations données dans les nos 14, 15, 16, qui supposent une agitation se propageant jusqu'à une profondeur infinie, ne sauraient, dans aucun cas, représenter rigoureusement le mouvement des vagues; en effet, d'une part la profondeur de la mer est limitée, d'autre part le mouvement est arrêté dans sa propagation de haut en bas par les résistances moléculaires; ce mouvement, produit par des causes agissant à la surface, ne peut pas plus descendre à une profondeur infinie, qu'il ne peut survivre pendant un temps infini aux causes qui l'ont engendré. On doit reconnaître, cependant, que les résistances moléculaires ne paraissent pas altérer d'une manière notable la nature de l'agitation, à la surface,

c'est-à-dire dans la seule partie du liquide qui agit sur la carène des navires, et, d'après les vérifications expérimentales de l'équation (8), il est permis, quand l'effet du fond ne se fait pas sentir, de regarder le mouvement ondulatoire comme se propageant indéfiniment en profondeur.

En cherchant à tenir compte d'un véritable défaut de profondeur, on a été conduit à des équations un peu plus compliquées que les précédentes, qui ont été obtenues d'abord par Sir Airy (1), présentées récemment par M. Boussinesq (2), pour exprimer le mouvement de la

(1) Airy, *Tides and waves*, Encyclopedia metropolitana, 1835.

(2) Les travaux de M. Boussinesq sur les ondes liquides ont une portée scientifique qui s'étend au-delà de l'étude du mouvement des vagues. Partant des équations des mouvements continus d'un milieu quelconque, pour passer au cas des mouvements d'un liquide pesant, l'auteur donne les équations différentielles assez complexes qui représentent tous les mouvements oscillatoires, ceux infiniments petits (cas des ondes sonores) comme ceux de dimensions apparentes, qui se propagent, soit dans tous les sens à partir d'un point central d'ébranlement, soit dans une direction unique à partir d'un plan d'ébranlement; il suit les ondes dans les phénomènes de diffraction qu'elles peuvent présenter; il donne les lois générales du travail employé à les produire ou à les éteindre. Pour faire l'application de ces équations générales, il les remplace par des équations approchées dans lesquelles toutes les puissances des déplacements absolus des molécules sont négligées au-dessus d'un certain ordre et il donne successivement les lois des ondulations, à une première et à une deuxième approximation.

Les calculs applicables au mouvement des vagues se trouvent dans la *Théorie des ondes liquides périodiques*, présentée le 19 Avril 1869 à l'Académie des sciences, et publiée avec additions en 1872, dans les *Savants étrangers*: voir surtout les équations générales (4) et (5) et la forme particulière (7), que

houle, et adoptées en principe par M. de Saint-Venant dans l'importante *Etude du Roulis sur mer houleuse*, insérée dans le T. XVI des Mémoires de la Société des Sciences naturelles de Cherbourg. Ces nouvelles équations ne sont qu'approchées, tandis que celles du chapitre précédent sont rigoureuses, étant admises les hypothèses auxquelles elles correspondent. La comparaison des deux systèmes d'équations n'a peut-être qu'une importance secondaire au point de vue de l'architecture navale, car les mouvements qu'elles indiquent se confondent ensemble pour la haute mer; mais il est intéressant de se rendre compte par des chiffres précis, du degré d'exactitude qu'ils présentent l'un et l'autre, afin d'être fixé sur le choix à faire entr'eux, et aussi afin de connaître les profondeurs d'eau et des grandeurs de vagues pour lesquelles on peut regarder le mouvement oscillatoire du liquide comme soumis aux équations obtenues. Les calculs relatifs à l'effet du fond, peuvent suggérer d'ailleurs d'intéressantes observations.

prennent ces équations quand les carrés des déplacements des molécules sont négligés, et que l'on suppose aux mouvements périodiques une expression de la forme M cos $(\epsilon t\text{-}N)$; voir enfin l'application de ces équations aux ondes planes. Dans la note (1), M. Boussinesq, en tenant compte des deuxièmes puissances des déplacements des molécules, obtient les équations de Sir Airy que nous allons indiquer. Au § 4 de la même note, il considère le cas où la profondeur étant infinie, l'excentricité des ellipses s'annule; ce cas ne présente ainsi à M. Boussinesq qu'une application particulière de ses équations générales, mais il diffère du cas général par l'exactitude des équations qui ne supposent plus rien de négligé.

La *Théorie des ondes liquides périodiques* donne aussi, § II, p. 16 à 17, les équations du clapotis.

En abordant cette nouvelle étude, rappelons d'abord les conditions fondamentales qui conduisent aux équations du mouvement à orbites circulaires. Les équations différentielles générales de toutes les *ondes courantes*, planes et permanentes, rapportées à des axes qui suivent le mouvement uniforme de propagation sont (1)

$$\text{(X)}\quad \frac{dy}{dz}\cdot\frac{d^2x}{dt^2}+\frac{dx}{dt}\,\frac{d^2y}{dt\,dz}-\frac{dx}{dz}\,\frac{d^2y}{dt^2}-\frac{dy}{dt}\,\frac{d^2x}{dt\,dz}=0$$

$$\text{(Y)}\quad \frac{dx}{dz}\,\frac{d^2x}{dt^2}+\frac{dy}{dz}\,\frac{d^2y}{dt^2}-\frac{dx}{dt}\,\frac{d^2x}{dz\,dt^2}-\frac{dy}{dt}\,\frac{d^2y}{dz\,dt^2}=0$$

$$\text{(Z)}\quad \left(\frac{dx}{dt^2}\right)_0\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_0+g\left(\frac{dy}{dt}\right)_0+\left(\frac{dy}{dt}\right)_0\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)_0=0$$

En satisfaisant à ces équations générales, le mouvement à orbites circulaires jouit des deux propriétés particulières suivantes, qui résultent clairement des deux méthodes par lesquelles les équations de ce mouvement ont été successivement obtenues, dans le *Complément à l'étude sur la houle et le roulis*.

1° C'est le seul mouvement d'ondes, où il y ait coïncidence entre les couches horizontales et les couches de

(1) (A) est l'équation de continuité $\frac{d}{dt}\,\frac{d\sigma}{dt\,dz}=0$, la valeur de la dérivée de $d\sigma$ étant celle indiquée au n° 1 du *Complément*; (B) est l'équation de l'hydrostatique $\frac{df(z,t)}{dz}=\frac{df_1(z,t)}{dt}$ du n° 3; enfin (C) est l'équation (G) du n° 5, exprimant que la pression est constante à la superficie.

niveau (1). Cette coïncidence n'a donc lieu que si la profondeur est infinie.

2° C'est le seul mouvement dans lequel les espaces parcourus par les molécules en oscillation soient représentés par les sinus et cosinus d'arcs proportionnels au temps (2), suivant les lois

$$(0) \quad \begin{cases} x = a \sin \varepsilon t, \\ y = b \cos \varepsilon t, \end{cases}$$

ou même soient proportionnels à une puissance quelconque de ces sinus et cosinus, comme je l'ai montré dans ma première étude. Quand la profondeur est limitée, la loi des mouvements est donc d'une autre nature.

Malgré l'exactitude de cette dernière proposition, les équations que nous allons voir satisfont encore aux équations (0) : elles ne peuvent pas, dès lors, remplir exactement les conditions (X), (Y), (Z) et la manière dont elles s'en écartent se voit clairement en établissant ces nouvelles équations de la manière suivante.

Partons encore, pour représenter le mouvement à étudier, des équations

$$x = -Ut + a \sin \varepsilon t,$$

$$y = -z + b \cos \varepsilon t,$$

les deux conditions (X) et (Y) donnent, comme on sait, les équations

(1) *Complément*, nos 5 et 6.
(2) *Complément*, nos 1, 2, 3, 4.

(A) $$\mathrm{U}\frac{db}{dz} + \varepsilon a = 0,$$

(E) $$\mathrm{U}\frac{da}{dz} + \varepsilon b = 0,$$

(D) $$a\frac{db}{dz} - b\frac{da}{dz} = 0,$$

Ajoutons, cette fois, la quatrième condition

(Q) $$b_p = 0, \text{ pour } z = p:$$

b_p représentant la valeur de b à la profondeur p ; il y a une incompatibilité entre les équations, mais les deux premières et la quatrième sont satisfaites par les valeurs de a et de b suivantes

(28) $$a = h\frac{e^{\varepsilon\frac{p-z}{\mathrm{U}}} + e^{-\varepsilon\frac{p-z}{\mathrm{U}}}}{e^{\varepsilon\frac{p}{\mathrm{U}}} - e^{-\varepsilon\frac{p}{\mathrm{U}}}} = h\frac{e^{\pi\frac{p-z}{\mathrm{L}}} + e^{-\pi\frac{p-z}{\mathrm{L}}}}{e^{\pi\frac{p}{\mathrm{L}}} - e^{-\pi\frac{p}{\mathrm{L}}}},$$

(29) $$b = h\frac{e^{\varepsilon\frac{p-z}{\mathrm{U}}} - e^{-\varepsilon\frac{p-z}{\mathrm{U}}}}{e^{\varepsilon\frac{p}{\mathrm{U}}} - e^{-\varepsilon\frac{p}{\mathrm{U}}}} = h\frac{e^{\pi\frac{p-z}{\mathrm{L}}} - e^{-\pi\frac{p-z}{\mathrm{L}}}}{e^{\pi\frac{p}{\mathrm{L}}} - e^{-\pi\frac{p}{\mathrm{L}}}};$$

h étant toujours la demi-hauteur des vagues égale à la valeur de b pour $z = 0$, et p étant la profondeur de la mer ou du moins la profondeur de l'agitation.

Nous avons bien, en effet,

$$\text{(E)}\quad \frac{da}{dz} = \frac{\varepsilon}{U}\, h \frac{-e^{\pi\frac{p-z}{L}} + e^{-\pi\frac{p-z}{L}}}{e^{\pi\frac{p}{L}} - e^{-\pi\frac{p}{L}}} = -\frac{\varepsilon}{U}\, b,$$

$$\text{(A)}\quad \frac{db}{dz} = \frac{\varepsilon}{U}\, h \frac{-e^{\pi\frac{p-z}{L}} - e^{-\pi\frac{p-z}{L}}}{e^{\pi\frac{p}{L}} - e^{-\pi\frac{p}{L}}} = -\frac{\varepsilon}{U}\, a,$$

$$b_p = 0, \text{ pour } z = p:$$

l'équation (D), au contraire, n'est pas satisfaite, car nous trouvons

$$\text{(30)}\qquad a\frac{db}{dz} - b\frac{da}{dz} = -\frac{\varepsilon}{U}(a^2 - b^2).$$

Les deux conditions particulières à la surface supérieure données par l'équation (Z), sont

$$\text{(B)}\qquad U\varepsilon\, a_0 - gh = 0,$$

$$\text{(C)}\qquad a_0^2 - h^2 = 0:$$

la première peut être regardée comme satisfaite, elle donne la valeur de U en fonction de a_0 et de h, ou en fonction de

h et de p ; la seconde, qui n'est pas remplie, ne présente qu'un cas particulier pour une couche de la nécessité de satisfaire aux trois conditions (A), (E), (D) et à la condition (Q).

Le mouvement accepté pour le cas d'une profondeur finie se trouve entièrement déterminé par les équations (27), (28), (29), (30) : voyons ses lois principales.

On a toujours, en conservant les notations du chapitre précédent,

$$L = UT, \qquad \pi = \varepsilon T, \qquad \frac{\varepsilon}{U} = \frac{\pi}{L}.$$

Les orbites sont des ellipses. Le rapport des deux axes est

$$(32) \qquad \frac{a}{b} = \frac{e^{2\pi\frac{p-z}{L}} + 1}{e^{2\pi\frac{p-z}{L}} - 1};$$

il est infini au fond, pour $z = p$; il est, à la surface,

$$(33) \qquad \frac{a_0}{h} = \frac{e^{2\pi\frac{p}{L}} + 1}{e^{2\pi\frac{p}{L}} - 1}.$$

La différence des deux axes est

$$(34) \qquad a - b = 2h \frac{e^{-\pi\frac{p-z}{L}}}{e^{\pi\frac{p}{L}} - e^{-\pi\frac{p}{L}}};$$

l'axe horizontal est toujours plus grand que l'axe vertical; la différence est minimum à la surface, et égale à

$$(35) \qquad a_0 - h = \frac{2h}{e^{2\pi\frac{p}{L}} - 1};$$

elle est maximum au fond, et égale à

$$a_p = \frac{2he^{\pi\frac{p}{L}}}{e^{2\pi\frac{p}{L}} - 1}.$$

L'excentricité est constante et indépendante de z; on a

$$c^2 = a^2 - b^2 = \frac{4h^2}{\left(e^{\pi\frac{p}{L}} - e^{-\pi\frac{p}{L}}\right)^2}$$

$$(36) \qquad c = \frac{2h}{e^{\pi\frac{p}{L}} - e^{-\pi\frac{p}{L}}}.$$

L'équation (30), combinée avec l'équation (33), donne entre U, L, T et p, les équations

$$(37) \qquad L = \frac{gT^2}{\pi}\,\frac{e^{2\pi\frac{p}{L}} - 1}{e^{2\pi\frac{p}{L}} + 1},$$

(38) $$U^2 = \frac{gL}{\pi} \frac{e^{2\pi\frac{p}{L}} - 1}{e^{2\pi\frac{p}{L}} + 1},$$

(39) $$U = \frac{gT}{\pi} \frac{e^{2\pi\frac{p}{L}} - 1}{e^{2\pi\frac{p}{L}} + 1},$$

qui indiquent, pour une valeur donnée de T, un raccourcissement et un ralentissement des vagues d'autant plus grands que la profondeur de l'eau, p, diminue.

L'inclinaison maximum Θ des vagues est donnée par la même équation que dans le cas d'une profondeur infinie,

$$\text{tang}\,\Theta = \pi \frac{h}{L}.$$

L'influence de la profondeur de l'eau sur les valeurs de L et de U est donnée par le tableau suivant des valeurs numériques du rapport

$$\frac{e^{2\pi\frac{p}{L}} - 1}{e^{2\pi\frac{p}{L}} + 1}:$$

la dernière colonne de ce tableau intitulée B donne les valeurs du rapport de l'excentricité c à la demi-hauteur h, c'est-à-dire

$$\frac{c}{h} = \frac{2}{e^{\pi\frac{p}{L}} - e^{-\pi\frac{p}{L}}};$$

la colonne intitulée A donne la valeur du rapport

$$\frac{e^{2\pi\frac{p}{L}} - 1}{e^{2\pi\frac{p}{L}} + 1} = \frac{e^{\pi\frac{p}{L}} - e^{-\pi\frac{p}{L}}}{e^{\pi\frac{p}{L}} + e^{-\pi\frac{p}{L}}}.$$

$\frac{p}{L}$	$e^{\pi\frac{p}{L}}$	$e^{-\pi\frac{p}{L}}$	$e^{2\pi\frac{p}{L}}$	A	B
0,00	1,000	1,000	»	0,0000	∞
0,05	1,170	0,854	1,369	0,156	6,330
0,10	1,369	0,730	1,874	0,304	3,130
0,15	1,602	0,624	2,566	0,439	2,045
0,20	1,874	0,533	3.514	0,551	1,491
0,25	2,193	0,456	4,810	0,656	1,151
0,30	2,566	0,390	6,586	0,736	0,919
0,35	3,003	0,333	9,017	0,800	0,749
0,40	3,514	0,285	12,345	0,850	0,619
0,45	4,111	0,243	16,901	0,888	0,517
0,50	4,810	0,208	23,141	0,917	0,435
0,55	5,629	0,178	31,682	0,939	0,367
0,60	6,586	0,152	43,376	0,955	0,311
0,65	7,706	0,130	59,386	0,968	0,264
0,70	9,017	0,111	81,307	0,976	0,225
0,75	10,556	0,095	111,44	0,980	0,191
0,80	12,345	0,081	152,40	0,987	0,163
0,85	14,445	0,069	208,66	0,990	0,139
0,90	16,901	0,059	285,66	0,993	0,119
0,95	19,913	0,050	396,54	0,995	0,101
1,00	23,141	0,043	535,491	0,996	0,087
2,00	535,491	0,001867	286751,00		0,00373

Le mouvement défini par les équations précédentes satisfait à l'idée que l'on doit se faire du mouvement réel dans un liquide peu profond, parce qu'il conduit, pour le voisinage du fond, au seul mouvement oscillatoire qui y soit possible, et de plus, parce qu'il donne l'explication du raccourcissement et du ralentissement marqués que les vagues présentent quand la profondeur diminue. Il est assez d'accord, sur quelques points, avec les expériences faites dans des canaux peu profonds et en particulier avec celles de M. de Caligny, qui a trouvé pour orbites des ellipses s'aplatissant de plus en plus à mesure que l'on s'approche du fond et se réduisant, au fond même, à une petite ligne droite (1). Enfin, M. de Bénazé a observé direc-

(1) Les expériences de M. de Caligny, publiées en 1842 et en 1843 (C. R. Acad. des sciences, T. XVI, p. 381), indiquent que le grand axe des orbites à la surface est vertical et non pas horizontal, comme l'exigent les équations de M. Airy; sur ce point, les résultats présentés par cet habile observateur se trouvent d'accord avec ceux recueillis en mer par M. Aimé, et avec les conditions du mouvement imaginées par M. le colonel Emy pour expliquer les faits qu'il observait. Les frères Weber ont, au contraire, trouvé que le grand axe des orbites est horizontal. M. Boussinesq, à la fin de la note 1, p. 78 de sa *Théorie des ondes liquides et périodiques*, admet un raccourcissement de de l'axe horizontal des orbites de la surface et l'explique par l'effet des frottements qui augmentent les déplacements horizontaux intérieurs par rapport à ceux de la surface libre.

La connaissance des ondes courantes pour le cas d'une profondeur finie, ne pouvant être fournie par le calcul d'une manière rigoureuse, on reste dans l'obligation de consulter les recherches expérimentales faites à diverses époques sur des ondes produites artificiellement dans des canaux. Aux noms des observateurs qui viennent d'être cités, il faut ajouter surtout ceux de M. Scott Russell, de M. Dyar, de M. le général Poncelet, de M. le général Morin.

tement deux valeurs du raccourcissement et de l'excentricité, et ses résultats ne s'écartent pas outre mesure des équations (36) et (37), ce qui est d'autant plus remarquable qu'il ne paraît pas avoir connu les relations théoriques avec lesquelles ses observations tombent à peu près d'accord (1).

Les relevés de M. de Bénazé ont été faits sur deux houles de longueurs si peu différentes, que l'on peut les considérer comme deux observations sur la même houle et comparer les résultats moyens avec les données des formules.

Profondeur p	Demi-longueur observée L	Rapport $\frac{p}{L}$	Demi-durée observée T	Demi-hauteur observée h	Amplitude observée a_0	Excentricité c^2	Rapport $\frac{c}{h}$	Rapport $\frac{L}{\frac{\pi}{g}T^2}$
9m	80	0,11	7"	0m40	1m	0,84	2,3	0,52
9m	95	0,09	7",25	0m70	1m65	2,23	2,1	0,58
Moyennes.		0,10	....				2,2	0,55
Valeurs indiquées par les équations (36) et (37).							3,1	0,64

Cette vérification expérimentale, faite en mer, a certainement plus de poids en faveur des équations (27), que les expériences dans de petits canaux et même que le calcul numérique présenté dans le n° suivant, de l'écart entre

(1) *Etude du roulis sur mer agitée*, p. 32.

les équations et les conditions exactes du mouvement. Il faut remarquer que, dans ces observations de M. de Bénazé, l'excentricité est moindre et le raccourcissement plus grand que les valeurs théoriques.

21. — Passons maintenant au calcul numérique des quantités négligées pour obtenir les équations (27) : ces quantités sont toutes proportionnelles à des puissances des déplacements des molécules supérieures aux carrés ; leur valeur bien que petite, relativement à celle des termes conservés, est néanmoins finie et calculable, puisque les mouvements considérés ont des amplitudes finies : en l'évaluant, nous aurons, en chiffres, le degré d'approximation des équations (27) et nous pourrons nous faire une idée exacte de la supériorité des équations du mouvement elliptique sur celles du mouvement circulaire pour les mers peu profondes.

Deux conditions ne sont pas satisfaites exactement, avons-nous dit, par le mouvement à orbites elliptiques, à savoir la loi de la constance des volumes et celle de l'uniformité de pression sur la surface supérieure.

1° L'expression du volume élémentaire est devenue

$$d\sigma = \left\{ \mathrm{U} + b\epsilon \frac{da}{dz} - \frac{\epsilon^2}{\mathrm{U}} (a^2 - b^2) \cos^2 \epsilon t \right\} dt\, dz ;$$

elle contient un terme variable en fonction de t; la différence entre sa plus grande et sa plus petite valeur est

$$\frac{\epsilon^2}{\mathrm{U}} (a^2 - b^2).$$

Si l'on divise cette variation de $d\sigma$ par la partie con-

stante de $d\sigma$, on trouve, pour rapport des deux quantités,

$$\frac{\varepsilon^2 (a^2 - b^2)}{U^2 - b^2 \varepsilon^2}:$$

la plus grande valeur de ce rapport, qui correspond à un *maximum* d'inexactitude des équations (27), a lieu à la surface supérieure, pour $b = h$, et elle est égale à

$$(40) \qquad \zeta = \frac{c^2}{\frac{L^2}{\pi^2} - h^2} = \frac{\left(\frac{c}{h}\right)^2}{\left(\frac{L}{\pi h}\right)^2 - 1}$$

Il est facile, à l'aide des valeurs de $\frac{c}{h}$ contenues dans le tableau de la page 87, de calculer les variations *maxima* de $d\sigma$ pour des houles présentant les trois valeurs de $\frac{h}{L}$ 0,05, 0,10 et 0,15, et pour les quatre valeurs de $\frac{p}{L}$ égales à 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00: les résultats sont les suivants:

$\frac{h}{L}$	VALEURS DE ζ POUR			
	$\frac{p}{L} = 0{,}25$	$\frac{p}{L} = 0{,}50$	$\frac{p}{L} = 0{,}75$	$\frac{p}{L} = 1{,}00$
0,05	0,03351	0,00479	0,00092	0,00019
0,10	0,14507	0,02072	0,00399	0,00083
0,15	0,37818	0,05402	0,01041	0,00216

2° L'expression de la différentielle de la pression, au lieu d'être nulle, quand on chemine le long de la surface supérieure, est

$$dP = \delta (a_0^2 - h^2)\, \varepsilon^2 \sin \varepsilon t \cos \varepsilon t\, dt;$$

dont l'intégrale, en passant du sommet au point d'inflexion, est

$$\Delta P = \frac{\delta}{2} (a_0^2 - h^2)\, \varepsilon^2.$$

Pour évaluer cette variation ΔP de la pression en fonction des quantités calculées dans le tableau qui précède, il faut l'écrire sous la forme

$$\Delta P = \frac{\delta}{2} c^2 \frac{\pi^2}{L^2} U^2 = \frac{g\delta\pi}{2} L \left(\frac{c}{h}\right)^2 \left(\frac{h}{L}\right)^2 \frac{\pi U^2}{gL};$$

ΔP est proportionnel à L, à valeur égale de $\frac{h}{L}$ et de $\frac{p}{L}$.

Il faut prendre le rapport de la variation de pression, ΔP à la pression atmosphérique Π, laquelle peut être évaluée approximativement à $10\ \delta g$ pour l'eau de mer: la valeur du rapport est

$$(41) \qquad \frac{\Delta P}{\Pi} = \frac{L}{10} \frac{\pi}{2} \left(\frac{c}{h}\right)^2 \left(\frac{h}{L}\right)^2 \frac{\pi U^2}{gL}.$$

Le tableau suivant donne les valeurs de

$$\chi = \frac{\Delta P}{\pi} \times \frac{10}{L} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{c}{h}\right)^2 \left(\frac{h}{L}\right)^2 \frac{\pi U^2}{gL}.$$

$\frac{h}{L}$	VALEUR DE χ POUR			
	$\frac{p}{L}=0{,}25$	$\frac{p}{L}=0{,}50$	$\frac{p}{L}=0{,}75$	$\frac{p}{L}=1{,}00$
0,05	0,00341	0,00068	0,00014	0,00003
0,10	0,01366	0,00272	0,00056	0,00012
0,15	0,03073	0,00612	0,00127	0,00026

L'examen des valeurs de ζ et de χ montre que, pour des vagues de 100^m environ de demi-longueur, la variation de volume et la variation de pression diffèrent peu l'une de l'autre : sur les petites vagues, c'est le volume qui change le plus ; sur les grandes, c'est la pression. On peut supposer que, dans ces dernières, la condition des volumes constants permet un mouvement de fond peu différent de celui des équations (27), et qu'en même temps la condition de constance de pression à la superficie donne lieu à un mouvement d'eau continuel en dehors de l'oscillation générale, définie par les équations (27), lequel couvre la surface de la mer d'une agitation particulière.

Quand $\frac{p}{L}$ tombe au-dessous de 0,25 avec $\frac{h}{L}=0{,}05$, ou au-dessous de 0,50 avec $\frac{h}{L}=0{,}15$, les équations (27) représentent le mouvement d'une manière trop inexacte pour être encore acceptées.

Afin de connaître d'une manière précise la valeur des équations (27), et l'avantage réalisé en satisfaisant aux conditions (A), (E) et (B), plutôt qu'aux conditions (D) et (C), il faut maintenant calculer l'approximation que don-

nerait le mouvement circulaire si l'on négligeait l'oscillation près du fond.

Dans le mouvement circulaire, pour que les rayons deviennent nuls près du fond, il faut faire partout

$$r = he^{-\pi\frac{z}{L}} - he^{-\pi\frac{p}{L}};$$

comme on a d'ailleurs $a = b$, les équations (D) et (C) sont satisfaites, l'équation (B) ne cesse pas de l'être, non plus que l'équation (Q); il y a ainsi toujours quatre conditions remplies sur six. Ce sont les équations (A) et (E) qui ne sont pas satisfaites. On a

$$\text{(E)} \qquad U\frac{da}{dz} + \epsilon b = U\frac{db}{dz} + \epsilon a = h\epsilon e^{-\pi\frac{p}{L}};$$

la condition de la constance des volumes (X) et la loi de l'hydrostatique (Y) ne sont pas remplies, mais la pression est la même en tous les points de la surface supérieure, conformément à l'équation (Z).

Voyons d'abord comment varie $d\sigma$; sa valeur est devenue

$$d\sigma = \left\{ U - h\frac{\epsilon^2}{g} r e^{-\pi\frac{z}{L}} + h\epsilon e^{-\pi\frac{p}{L}} \cos \epsilon t \right\} dt\, dz.$$

Le terme variable est compris entre O et

$$h\epsilon e^{-\pi\frac{p}{L}};$$

sa valeur maximum est indépendante de la profondeur z de la couche considérée.

Le terme constant

$$U - h\frac{\varepsilon^2}{g}\,r\,e^{-\pi\frac{z}{L}},$$

dépend au contraire de z; il est maximum à la superficie, pour $z = o$ et $r = h$.

Le maximum du rapport de la partie variable à la partie constante de $d\sigma$, que l'on pourrait appeler coefficient d'exactitude, est donc

$$(42)\qquad \zeta' = \frac{\pi\frac{h}{L}e^{-\pi\frac{p}{L}}}{1-\left(\frac{\pi h}{L}\right)^2};$$

sa valeur est donnée par le tableau suivant

$\frac{h}{L}$	VALEURS DE ζ' POUR			
	$\frac{p}{L} = 0,25$	$\frac{p}{L} = 0,50$	$\frac{p}{L} = 0,75$	$\frac{p}{L} = 1,00$
0,05	0,01153	0,00526	0,00240	0,00109
0,10	0,04981	0,02276	0,01037	0,00473
0,15	0,13286	0,06058	0,02760	0,01259

En comparant les valeurs de ζ et celles de ζ', on voit que, pour les petites profondeurs et même pour celles égales au quart de L, le mouvement circulaire est beaucoup moins inexact que le mouvement elliptique, ce qui

concorde peu avec les faits observés par M. de Bénazé (1). Quand la profondeur va en augmentant, le degré d'approximation croît beaucoup plus vite pour le mouvement elliptique que pour le mouvement circulaire : pour une profondeur égale à la moitié de L, les deux mouvements conviennent également : pour $p = L$, le mouvement elliptique est cinq fois plus exact.

Ce qu'il y a de certain, c'est que le mouvement elliptique et le mouvement circulaire diffèrent de moins en moins l'un de l'autre, lorsque la profondeur augmente

(1) Si l'on suppose, dans le mouvement elliptique, le rapport $\frac{L}{p}$ très-petit, on peut, en développant la puissance de e, s'en tenir au premier terme du développement ; on trouve ainsi

$$U^2 = \frac{gL}{\pi} \frac{2\pi \frac{p}{L}}{2\pi \frac{p}{L} + 2} = g \frac{L}{\pi} \frac{\pi p}{\pi p + L},$$

ou, en négligeant πp en présence de L,

$$U^2 = gp;$$

cette formule, donnée par Lagrange, *Mécanique analytique*, sect. XI, 37, exprime la vitesse de l'onde solitaire.

Voir le mémoire *Sur la houle et le clapotis*, par M. de Saint-Venant, p. 10.

La *Théorie des ondes et des remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal en communiquant au liquide contenu dans ce canal des vitesses sensiblement pareilles de la surface au fond*, par M. Boussinesq, publiée en 1872 dans le journal des mathématiques pures et appliquées, renferme une continuation approfondie des recherches sur l'onde solitaire, et donne les lois théoriques de ce phénomène étudié expérimentalement en 1842-1843 par M. de Caligny, et surtout en 1844 par M. J. Scott Russell. Voici les lois principales obtenues :

$$\frac{c}{h} = \frac{2}{e^{\pi \frac{p}{L}} - e^{-\pi \frac{p}{L}}};$$

la colonne intitulée A donne la valeur du rapport

$$\frac{e^{2\pi \frac{p}{L}} - 1}{e^{2\pi \frac{p}{L}} + 1} = \frac{e^{\pi \frac{p}{L}} - e^{-\pi \frac{p}{L}}}{e^{\pi \frac{p}{L}} + e^{-\pi \frac{p}{L}}}.$$

$\frac{p}{L}$	$e^{\pi \frac{p}{L}}$	$e^{-\pi \frac{p}{L}}$	$e^{2\pi \frac{p}{L}}$	A	B
0,00	1,000	1,000	»	0,0000	∞
0,05	1,170	0,854	1,369	0,156	6,330
0,10	1,369	0,730	1,874	0,304	3,130
0,15	1,602	0,624	2,566	0,439	2,045
0,20	1,874	0,533	3,514	0,551	1,491
0,25	2,193	0,456	4,810	0,656	1,151
0,30	2,566	0,390	6,586	0,736	0,919
0,35	3,003	0,333	9,017	0,800	0,749
0,40	3,514	0,285	12,345	0,850	0,619
0,45	4,111	0,243	16,901	0,888	0,517
0,50	4,810	0,208	23,141	0,917	0,435
0,55	5,629	0,178	31,682	0,939	0,367
0,60	6,586	0,152	43,376	0,955	0,311
0,65	7,706	0,130	59,386	0,968	0,264
0,70	9,017	0,111	81,307	0,976	0,225
0,75	10,556	0,095	111,44	0,980	0,191
0,80	12,345	0,081	152,40	0,987	0,163
0,85	14,445	0,069	208,66	0,990	0,139
0,90	16,901	0,059	285,66	0,993	0,119
0,95	19,913	0,050	396,54	0,995	0,101
1,00	23,141	0,043	535,491	0,996	0,087
2,00	535,491	0,001867	286751,00		0,00373

Le mouvement défini par les équations précédentes satisfait à l'idée que l'on doit se faire du mouvement réel dans un liquide peu profond, parce qu'il conduit, pour le voisinage du fond, au seul mouvement oscillatoire qui y soit possible, et de plus, parce qu'il donne l'explication du raccourcissement et du ralentissement marqués que les vagues présentent quand la profondeur diminue. Il est assez d'accord, sur quelques points, avec les expériences faites dans des canaux peu profonds et en particulier avec celles de M. de Caligny, qui a trouvé pour orbites des ellipses s'aplatissant de plus en plus à mesure que l'on s'approche du fond et se réduisant, au fond même, à une petite ligne droite (1). Enfin, M. de Bénazé a observé direc-

(1) Les expériences de M. de Caligny, publiées en 1842 et en 1843 (C. R. Acad. des sciences, T. XVI, p. 381), indiquent que le grand axe des orbites à la surface est vertical et non pas horizontal, comme l'exigent les équations de M. Airy; sur ce point, les résultats présentés par cet habile observateur se trouvent d'accord avec ceux recueillis en mer par M. Aimé, et avec les conditions du mouvement imaginées par M. le colonel Emy pour expliquer les faits qu'il observait. Les frères Weber ont, au contraire, trouvé que le grand axe des orbites est horizontal. M. Boussinesq, à la fin de la note 1, p. 78 de sa *Théorie des ondes liquides et périodiques*, admet un raccourcissement de de l'axe horizontal des orbites de la surface et l'explique par l'effet des frottements qui augmentent les déplacements horizontaux intérieurs par rapport à ceux de la surface libre.

La connaissance des ondes courantes pour le cas d'une profondeur finie, ne pouvant être fournie par le calcul d'une manière rigoureuse, on reste dans l'obligation de consulter les recherches expérimentales faites à diverses époques sur des ondes produites artificiellement dans des canaux. Aux noms des observateurs qui viennent d'être cités, il faut ajouter surtout ceux de M. Scott Russell, de M. Dyar, de M. le général Poncelet, de M. le général Morin.

stante de $d\sigma$, on trouve, pour rapport des deux quantités,

$$\frac{\varepsilon^2 (a^2 - b^2)}{U^2 - b^2 \varepsilon^2}:$$

la plus grande valeur de ce rapport, qui correspond à un *maximum* d'inexactitude des équations (27), a lieu à la surface supérieure, pour $b = h$, et elle est égale à

$$(40) \qquad \zeta = \frac{c^2}{\frac{L^2}{\pi^2} - h^2} = \frac{\left(\frac{c}{h}\right)^2}{\left(\frac{L}{\pi h}\right)^2 - 1}$$

Il est facile, à l'aide des valeurs de $\frac{c}{h}$ contenues dans le tableau de la page 87, de calculer les variations *maxima* de $d\sigma$ pour des houles présentant les trois valeurs de $\frac{h}{L}$ 0,05, 0,10 et 0,15, et pour les quatre valeurs de $\frac{p}{L}$ égales à 0,25, 0,50, 0,75 et 1,00: les résultats sont les suivants:

$\frac{h}{L}$	VALEURS DE ζ POUR			
	$\frac{p}{L} = 0{,}25$	$\frac{p}{L} = 0{,}50$	$\frac{p}{L} = 0{,}75$	$\frac{p}{L} = 1{,}00$
0,05	0,03351	0,00479	0,00092	0,00019
0,10	0,14507	0,02072	0,00399	0,00083
0,15	0,37818	0,05402	0,01041	0,00216

2° L'expression de la différentielle de la pression, au lieu d'être nulle, quand on chemine le long de la surface supérieure, est

$$dP = \delta (a_0^2 - h^2) \epsilon^2 \sin \epsilon t \cos \epsilon t \, dt;$$

dont l'intégrale, en passant du sommet au point d'inflexion, est

$$\Delta P = \frac{\delta}{2} (a_0^2 - h^2) \epsilon^2.$$

Pour évaluer cette variation ΔP de la pression en fonction des quantités calculées dans le tableau qui précède, il faut l'écrire sous la forme

$$\Delta P = \frac{\delta}{2} c^2 \frac{\pi^2}{L^2} U^2 = \frac{g \delta \pi}{2} L \left(\frac{c}{h}\right)^2 \left(\frac{h}{L}\right)^2 \frac{\pi U^2}{gL};$$

ΔP est proportionnel à L, à valeur égale de $\frac{h}{L}$ et de $\frac{p}{L}$.

Il faut prendre le rapport de la variation de pression, ΔP à la pression atmosphérique Π, laquelle peut être évaluée approximativement à $10 \, \delta g$ pour l'eau de mer: la valeur du rapport est

$$(41) \qquad \frac{\Delta P}{\Pi} = \frac{L}{10} \frac{\pi}{2} \left(\frac{c}{h}\right)^2 \left(\frac{h}{L}\right)^2 \frac{\pi U^2}{gL}.$$

Le tableau suivant donne les valeurs de

$$\chi = \frac{\Delta P}{\pi} \times \frac{10}{L} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{c}{h}\right)^2 \left(\frac{h}{L}\right)^2 \frac{\pi U^2}{gL}.$$

$\frac{h}{L}$	VALEUR DE χ POUR			
	$\frac{p}{L}=0,25$	$\frac{p}{L}=0,50$	$\frac{p}{L}=0,75$	$\frac{p}{L}=1,00$
0,05	0,00341	0,00068	0,00014	0,00003
0,10	0,01366	0,00272	0,00056	0,00012
0,15	0,03073	0,00612	0,00127	0,00026

L'examen des valeurs de ζ et de χ montre que, pour des vagues de 100ᵐ environ de demi-longueur, la variation de volume et la variation de pression diffèrent peu l'une de l'autre : sur les petites vagues, c'est le volume qui change le plus ; sur les grandes, c'est la pression. On peut supposer que, dans ces dernières, la condition des volumes constants permet un mouvement de fond peu différent de celui des équations (27), et qu'en même temps la condition de constance de pression à la superficie donne lieu à un mouvement d'eau continuel en dehors de l'oscillation générale, définie par les équations (27), lequel couvre la surface de la mer d'une agitation particulière.

Quand $\frac{p}{L}$ tombe au-dessous de 0,25 avec $\frac{h}{L}=0,05$, ou au-dessous de 0,50 avec $\frac{h}{L}=0,15$, les équations (27) représentent le mouvement d'une manière trop inexacte pour être encore acceptées.

Afin de connaître d'une manière précise la valeur des équations (27), et l'avantage réalisé en satisfaisant aux conditions (A), (E) et (B), plutôt qu'aux conditions (D) et (C), il faut maintenant calculer l'approximation que don-

nerait le mouvement circulaire si l'on négligeait l'oscillation près du fond.

Dans le mouvement circulaire, pour que les rayons deviennent nuls près du fond, il faut faire partout

$$r = he^{-\pi\frac{z}{L}} - he^{-\pi\frac{p}{L}};$$

comme on a d'ailleurs $a = b$, les équations (D) et (C) sont satisfaites, l'équation (B) ne cesse pas de l'être, non plus que l'équation (Q); il y a ainsi toujours quatre conditions remplies sur six. Ce sont les équations (A) et (E) qui ne sont pas satisfaites. On a

$$\text{(E)} \qquad U\frac{da}{dz} + \varepsilon b = U\frac{db}{dz} + \varepsilon a = h\varepsilon e^{-\pi\frac{p}{L}};$$

la condition de la constance des volumes (X) et la loi de l'hydrostatique (Y) ne sont pas remplies, mais la pression est la même en tous les points de la surface supérieure, conformément à l'équation (Z).

Voyons d'abord comment varie $d\sigma$; sa valeur est devenue

$$d\sigma = \left\{ U - h\frac{\varepsilon^2}{g} r e^{-\pi\frac{z}{L}} + h\varepsilon e^{-\pi\frac{p}{L}} \cos \varepsilon t \right\} dt\,dz.$$

Le terme variable est compris entre 0 et

$$h\varepsilon e^{-\pi\frac{p}{L}};$$

sa valeur maximum est indépendante de la profondeur z de la couche considérée.

Le terme constant

$$U - h\frac{\varepsilon^3}{g} r e^{-\pi\frac{z}{L}},$$

dépend au contraire de z; il est maximum à la superficie, pour $z = o$ et $r = h$.

Le maximum du rapport de la partie variable à la partie constante de $d\sigma$, que l'on pourrait appeler coefficient d'exactitude, est donc

$$(42) \qquad \zeta' = \frac{\pi\frac{h}{L} e^{-\pi\frac{p}{L}}}{1 - \left(\frac{\pi h}{L}\right)^2};$$

sa valeur est donnée par le tableau suivant

$\frac{h}{L}$	VALEURS DE ζ' POUR			
	$\frac{p}{L} = 0{,}25$	$\frac{p}{L} = 0{,}50$	$\frac{p}{L} = 0{,}75$	$\frac{p}{L} = 1{,}00$
0,05	0,01153	0,00526	0,00240	0,00109
0,10	0,04981	0,02276	0,01037	0,00473
0,15	0,13286	0,06058	0,02760	0,01259

En comparant les valeurs de ζ et celles de ζ', on voit que, pour les petites profondeurs et même pour celles égales au quart de L, le mouvement circulaire est beaucoup moins inexact que le mouvement elliptique, ce qui

concorde peu avec les faits observés par M. de Bénazé (1). Quand la profondeur va en augmentant, le degré d'approximation croît beaucoup plus vite pour le mouvement elliptique que pour le mouvement circulaire : pour une profondeur égale à la moitié de L, les deux mouvements conviennent également : pour $p = L$, le mouvement elliptique est cinq fois plus exact.

Ce qu'il y a de certain, c'est que le mouvement elliptique et le mouvement circulaire diffèrent de moins en moins l'un de l'autre, lorsque la profondeur augmente

(1) Si l'on suppose, dans le mouvement elliptique, le rapport $\frac{L}{p}$ très-petit, on peut, en développant la puissance de e, s'en tenir au premier terme du développement ; on trouve ainsi

$$U^2 = \frac{gL}{\pi} \frac{2\pi \frac{p}{L}}{2\pi \frac{p}{L} + 2} = g \frac{L}{\pi} \frac{\pi p}{\pi p + L},$$

ou, en négligeant πp en présence de L,

$$U^2 = gp ;$$

cette formule, donnée par Lagrange, *Mécanique analytique*, sect. XI, 37, exprime la vitesse de l'onde solitaire.

Voir le mémoire *Sur la houle et le clapotis*, par M. de Saint-Venant, p. 10.

La *Théorie des ondes et des remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal en communiquant au liquide contenu dans ce canal des vitesses sensiblement pareilles de la surface au fond*, par M. Boussinesq, publiée en 1872 dans le journal des mathématiques pures et appliquées, renferme une continuation approfondie des recherches sur l'onde solitaire, et donne les lois théoriques de ce phénomène étudié expérimentalement en 1842-1843 par M. de Caligny, et surtout en 1844 par M. J. Scott Russell. Voici les lois principales obtenues :

et qu'il n'y a plus lieu de faire de distinction entr'eux, dès que le premier devient sensiblement exact. Le tableau de la page 87 fait voir en effet combien l'excentricité c diminue rapidement quand la profondeur de la mer aug-

Soit p la profondeur du liquide au repos, h la hauteur de l'onde au-dessus du niveau au repos, S la surface au-dessus du même niveau, U la vitesse de propagation, L la demi-longueur de l'onde, et x et y les coordonnées du profil de l'onde par rapport à deux axes de coordonnées, dont l'un est le niveau supérieur du liquide au repos, et l'autre la verticale passant par le sommet de l'onde, on a :

$$U = \sqrt{g(p+h)},$$
$$L = \infty,$$
$$h = \frac{3}{16}\frac{S^2}{p^3},$$
$$\frac{h}{y} = \frac{1}{2}\left[1 \pm \text{cos hyp.} \sqrt{\frac{3h}{p^3}}(x-c)\right].$$

D'après M. Scott Russell (*The modern system of nav. archit.*, p. 190), les formules auraient été :

$$U = \sqrt{g(p+h)},$$
$$L = \pi p - \frac{S}{2p},$$
$$\left\{\begin{array}{l} y = h \sin \psi, \\ x = p\theta - 2\dfrac{S}{p} \text{ sin verse } \psi, \\ \text{sin verse } \theta = 2 \sin \psi. \end{array}\right.$$

M. Boussinesq a aussi établi que, des deux sortes d'ondes solitaires, positives et négatives, observées par M. Scott Russell, les premières seules sont douées de *longévité*.

Dans des ondes qui ne résulteraient pas d'une affluence subite d'eau, la vitesse U peut dépendre de la cause créatrice des ondes.

mente : au-delà des limites de ce tableau, la décroissance de c est encore bien plus rapide, puisque, pour une profondeur égale à la longueur totale 2 L, le rapport de c à h n'est plus que 0,0035, et que dès lors la différence entre le mouvement elliptique et le mouvement circulaire est tout-à-fait insignifiante.

D'un autre côté, il ne faut pas perdre de vue que, suivant certains observateurs et en particulier suivant M. de Caligny, le grand axe des ellipses devient vertical à la surface.

Nous nous en tiendrons donc aux orbites circulaires pour l'étude du roulis ; nous supposerons que l'influence du fond, en haute mer, reste du même ordre que l'influence du vent, de la viscosité de l'eau, etc., sur la forme et sur la vitesse des vagues.

23. — Quand la profondeur de l'eau est très-faible, la modification produite dans le mouvement à la surface réside moins dans la déformation des orbites que dans l'augmentation d'amplitude des mouvements oscillatoires, et il faudrait, pour l'étudier, connaître les lois dynamiques de la transmission du mouvement ondulatoire dans le sens de la propagation, quand la profondeur de l'eau agitée varie. La hauteur des vagues croît à tel point, qu'une houle assez douce au large devient sur un banc ou près d'une plage une gêne sérieuse et même un grave danger pour les navires. Il serait très-intéressant d'obtenir les profondeurs pour lesquelles les vagues du large, de diverses longueurs avec l'inclinaison maximum correspondant à ces longueurs, créent ainsi pour la navigation des périls à éviter. Ces profondeurs paraissent dépendre de la nature du fond qui peut lui-même participer plus ou moins aux ondulations des couches horizontales; la mer

devient moins dure sur un fond de vase molle, que sur un banc de sable ou de rocher (1).

Si le fond continue à s'élever, la mer déferle, et l'on a un brisant. De très-grosses houles déferlent par des fonds de 40^m et même davantage (2). Pendant que les vagues s'élèvent et deviennent plus aigües avant de déferler, elles ne gardent point leur profil trochoïdal de manière à arriver régulièrement au point de rebroussement : le versant antérieur s'incline par une disposition inverse de celle que présentent les vagues de vent au large; la vague vient se jeter en avant sans que le versant arrière ait atteint une très-grande inclinaison. Il semblerait que le fond arrête la propagation du mouvement de telle sorte que les sommets des différentes couches horizontales, au lieu de se trouver sur une même verticale, forment une courbe qui va en s'inclinant jusqu'à ce que l'eau, distribuée des deux côtés de cette courbe, ne trouve plus d'appui devant elle et retombe dans le vide (3).

Au moment où la vague brise, cesse le mouvement ondulatoire proprement dit, le phénomène des *ondes courantes*. Chaque vague jette en avant une masse d'eau animée d'un mouvement de véritable translation; elle forme ainsi une nouvelle onde qui va se perdre en montant sur

(1) Voir Cialdi, *Sul moto ondoso*, nos 522-588 et principalement n° 580.

(2) L'action de la mer sur le fond, au point de vue des sables qu'elle peut enlever, paraît se faire sentir par des profondeurs bien supérieures à celles pour lesquelles la réaction du fond se manifeste dans le mouvement à la surface. M. Cialdi s'est particulièrement occupé de ce soulèvement de sable.

(3) Voir l'opinion déjà émise par Gerstner à la fin du § 37 de la *Theorie der Wellen*.

le rivage (1). Ce mouvement périodique se compose d'ondulations indépendantes les unes des autres : d'après ses caractères apparents, ainsi que d'après les causes qui le produisent, M. Scott Russell a pu le rattacher d'une manière plausible aux phénomènes des *ondes solitaires* que l'on produit en faisant affluer subitement à l'extrémité d'un canal un certain volume de liquide (2).

En même temps que, par l'effet du défaut de profondeur, le mouvement de propagation subit un ralentissement, qui serait le même du fond à la surface si les orbites, de circulaires, devenaient elliptiques en étant exactement soumises aux équations (27), et qui parait être plus fort vers le fond lorsque l'on approche du brisant, il se produit un transport du liquide, c'est-à-dire un courant. Ce courant, s'il ne rencontre pas d'obstacle, peut atteindre des vitesses de plusieurs nœuds ; et il est d'autant plus dangereux qu'il se produit plus particulièrement dans le

(1) On peut remarquer comme exemple de brisement, en examinant le sillage d'un navire du côté du vent, que les petites vagues brisent en rencontrant l'eau calme du remous.

(2) *The modern system of naval architecture*, p. 203.

Les ondes solitaires qui succèdent ainsi aux ondes houleuses, suivant Scott Russell, ne sont pas sans analogie dans leur forme et dans leurs effets avec ce que le colonel Emy avait imaginé sous le nom de flots de fond : ces ondes sont en effet produites par des mouvements presqu'uniquement horizontaux des molécules liquides, elles sont indépendantes les unes des autres et séparées par des espaces calmes, enfin il y a un véritable transport d'eau égal au volume des ondes. Toutefois ce n'est point la même masse d'eau qui accompagne l'onde ; chaque molécule est successivement en mouvement pendant un temps assez court au commencement et à la fin duquel sa vitesse est une fonction assymptotique du temps ; les vitesses absolues sont tout autres que les vitesses apparentes de propagation.

voisinage des côtes; il a reçu le nom générique de *flot-courant*, c'est-à-dire, comme je le comprends, courant dû aux flots.

Le flot-courant mérite d'être mentionné ici, au moins d'une manière sommaire, en raison de la connexité évidente qu'offre son étude avec celle des vagues. Il dépend du rapport des dimensions des vagues à la profondeur de l'eau; si donc l'on avait une fois le tableau de ses valeurs en fonction de L, de h et de p, toute carte marine sur laquelle on aurait porté les dimensions moyennes et maxima des vagues, permettrait d'obtenir immédiatement, par le seul examen des sondes, le contour des zônes soumises habituellement ou exceptionnellement au flot-courant (1).

On n'a jusqu'ici, sur le flot-courant, que les indications générales recueillies par les navigateurs et relatives seulement à la vitesse à la surface qui est, du reste, l'élément important. Sur la nature et les causes de ce transport d'eau, on n'a obtenu aucune donnée précise, soit expérimentale (2), soit théorique. On s'explique comment

(1) Le flot-courant, dont nous esquissons seulement l'étude, a été l'objet des recherches attentives de M. Cialdi qui, dans un article publié en 1869 dans la *Revue maritime*, explique par le flot-courant le naufrage de l'*Alexandre Newski* et qui a surtout consacré à la même question un long chapitre du traité « *Sul moto ondoso.* »

M. Cialdi insiste vivement sur la convenance de marquer sur les cartes les régions exposées au flot-courant; elles comprennent à peu près, à ce qu'il assure, une zône suivant les côtes jusqu'à la limite des profondeurs de 300ᵐ pour l'Océan, de 150ᵐ pour la Méditerranée, de 80ᵐ pour l'Adriatique.

(2) Il n'a pas été fait, à ma connaissance, d'étude sur des ondes artificielles dans un canal dont les extrémités se rejoindraient de manière à permettre au flot-courant de s'établir.

rien dans les équations obtenues ne fait pressentir l'existence du flot-courant par le caractère de ces équations qui ne donnent qu'une simple approximation dès que l'influence du fond se fait sentir sur le mouvement. Il suffit que l'oscillation verticale conserve au fond, contrairement aux équations, une amplitude même infiniment petite, pour que le frottement de l'eau sur le fond, et par suite, la réaction du fond sur l'eau ne soient pas les mêmes pendant l'allée et le retour des molécules; les mouvements en arrière sont plus diminués par la résistance

Les mouvements de recul au fond et d'avancée à la surface, observés en 1848 par M. de Caligny, dans un canal où il produisait artificiellement des ondes courantes, se rattachent à une cause étrangère au flot-courant : M. de Caligny les attribue, du reste, lui-même, à la nature du procédé suivi pour créer les vagues (Voir une note présentée en 1861 à l'Académie des sciences, et insérée dans l'ouvrage de M. Cialdi, p. 601, 604). Les ondes étaient produites par le va-et-vient vertical d'un corps solide à une extrémité du canal; près de ce corps, il se produisait à la surface un transport d'eau en avant, et au fond un transport en arrière. Ces mouvements de translation diminuaient, à mesure que la distance à l'origine augmentait, d'abord proportionnellement à la distance, ou plutôt un peu moins vite, et ensuite beaucoup plus lentement; ils finissaient par devenir insensibles et étaient probablement nuls à partir du point où les mouvements, dégagés des conditions initiales, étaient sensiblement orbitaires.

Il est à remarquer que, si les expériences dans des canaux limités ne peuvent pas reproduire le flot-courant, elles sont tout aussi impropres à indiquer les différences des courants à la surface et au fond, à cause du frottement des corps répandus sur le fond. Voir la note de M. de Caligny citée plus haut, et surtout le mémoire du même auteur intitulé *Expériences directes sur les ondes en mer et dans les canaux, etc.*, Journal de mathématiques, année 1866.

du fond que ceux en avant et, par l'entraînement des couches les unes sur les autres, toute la masse liquide prend un mouvement dans le sens de la propagation, avec une vitesse qui doit aller en décroissant du fond à la surface. Les orbites prennent, pour ainsi dire, une sorte d'existence matérielle; elles roulent sur le fond et roulent les unes sur les autres.

Le flot-courant dû à l'action du fond sur les vagues, ou flot-courant de fond, peut se trouver superposé à un autre courant qui résulte d'une force toute différente, à savoir le frottement du vent sur la surface de l'eau et surtout sa pression sur le versant arrière des vagues (1). Ce dernier courant, qui pourrait s'appeler flot-courant de surface, d'après son siége, ou courant de brise, d'après la cause qui le produit, paraît être parfois assez rapide pour intéresser la navigation, bien qu'il reste inférieur au flot-courant dû à l'effet du fond. Les deux effets se produisent à la fois quand le vent soulève des vagues dans une eau peu profonde. Quand il n'y a ni vent ni fond pouvant réagir sur les vagues, l'observation, d'accord avec la théorie, ne révèle aucun flot-courant (2).

(1) Le courant dû à la brise doit être en corrélation intime avec la différence entre la vitesse de propagation théorique et la vitesse réelle, ou avec la différence L-L′ du n° 19: mais tandis que le changement de vitesse de propagation peut, s'il existe, être observé directement par le navigateur, le courant de brise entraîne le navire et n'est révélé que par les erreurs de route.

(2) M. Cialdi explique et classe de la manière suivante les divers courants produits par le vent et par les vagues dans une lettre qu'il m'a fait l'honneur de m'adresser.

Il entend par *fluttocorrente*, flot-courant, tout courant concomitant avec le mouvement ondulatoire de l'eau. Quand il dis-

Les courants qui précèdent sont évidemment influencés par la configuration géographique des mers. Ainsi, dans le cas où le courant entrant dans une baie ne trouve aucune issue pour continuer sa route, il se produit sur le rivage une certaine dénivellation qui atteint un maximum; le courant cesse alors, ou plutôt il se produit, en raison de la dénivellation, un second courant en sens inverse du premier, et il ne reste de sensible que des différences de vitesse entre ces courants à diverses profondeurs. Si le courant peut refluer parallèlement au rivage, la dénivellation produite est moindre, et le courant perpendiculaire au vent devient violent quand l'étendue des côtes battues par la houle est considérable. Il faut remarquer que, sur les plages, l'effet du flot-courant et du courant de brise se complique de l'apport d'eau produit par les ondes solitaires engendrées par la houle qui déferle.

L'influence de la forme du fond sur le flot-courant n'est

tingue un *fluttocorrente al largo* et un *fluttocorrente a terra*, le premier est le courant dû à l'action du vent sur les vagues qui n'existe par suite qu'à la superficie de l'eau; le second n'a lieu qu'à proximité de terre, il résulte de l'action combinée du vent sur la surface et du choc de la partie inférieure de l'onde contre le fond. Le premier effet du choc contre le fond est de ralentir la marche de la partie inférieure de l'onde et d'accélérer le mouvement de progression de la partie supérieure : de là un premier courant, que M. Cialdi nomme *fluttocorrente a terra di superficie*. Puis, à mesure que l'onde avance, sa partie inférieure cède aux poussées réitérées des ondes qui la suivent, malgré le ralentissement que lui fait subir l'obstacle toujours croissant du fond : elle devient le flot-courant que M.Cialdi désigne sous le nom de *fluttocorrente del fondo*. M. Cialdi a soin de faire remarquer que ce dernier flot-courant est indépendant de l'action directe du vent et qu'il peut se développer sans que le vent souffle.

pas moins importante, ni moins difficile à analyser que la confusion de courants qui précède. Une succession de bassins profonds où les vagues se forment et de hauts fonds sur lesquels elles doivent passer, paraît une circonstance particulièrement propre à la formation du flot-courant, comme le vérifient les dénivellations extraordinaires qui se produisent par les vents de S.-E et de N.-O. dans l'estuaire de Buenos-Ayres.

24. — L'étude qui précède s'applique au mouvement dans une mer limitée en étendue dont les rivages présentent une inclinaison modérée. Lorsque la rive est très-accore, les faits sont tout différents, et il se produit une véritable réflexion de la houle.

Le phénomène particulier, pour le cas où les vagues se trouvent brusquement arrêtées dans leur propagation par un obstacle perpendiculaire à leur vitesse, tel que le mur vertical d'un quai, observé à diverses reprises, a été surtout décrit et expliqué avec exactitude par le colonel Emy (1). M. Boussinesq a embrassé ce cas particulier, dans son étude des mouvements oscillatoires (2). Plus récemment, M. de St-Venant a montré par le calcul comment le clapotis résulte de la houle, et réciproquement : il considère le clapotis défini par ses équations comme satisfaisant en toute rigueur aux lois des liquides ; il semble même le regarder comme la vibration élémentaire de l'eau. C'est d'après l'*Etude sur la houle et le clapotis*

(1) *Du mouvement des ondes.* Voir nº 1 la distinction des ondes courantes et des ondes clapoteuses : pour la description et l'explication de ces dernières, voir nº 63, *Rencontre de deux ondes égales*, et les nºs suivants.

(2) *Théorie des ondes liquides périodiques*, p. 15.

de M. de Saint-Venant (1), que j'exposerai la formation et la nature des ondes clapoteuses ; mais je ferai remarquer que le clapotis théorique, de même que la houle théorique dans une mer de profondeur finie, ne donne qu'une notion approchée et non la représentation exacte des faits ; il ne satisfait point à toutes les conditions imposées.

Reprenons les équations (3) de la houle rapportée à des axes fixes et considérons la supposition de deux houles de même longueur, de même hauteur et de direction contraire, telles qu'une houle se dirigeant vers un quai, et la même houle revenant après avoir été réfléchie. Les valeurs de U et de ε étant de signe contraire dans les deux houles, les équations du mouvement résultant sont

$$(44)\quad \begin{cases} x = x_0 + r \sin \varepsilon\left(t - \dfrac{x_0}{U}\right) - r \sin \varepsilon\left(t + \dfrac{x_0}{U}\right), \\ y = -z + \cos \varepsilon\left(t - \dfrac{x_0}{U}\right) + r \cos \varepsilon\left(t + \dfrac{x_0}{U}\right), \end{cases}$$

ou en simplifiant

$$(44)\quad \begin{cases} x = x_0 - 2r \cos \varepsilon t \sin \dfrac{\varepsilon}{U} x_0, \\ y = -z + 2r \cos \varepsilon t \cos \dfrac{\varepsilon}{U} x_0. \end{cases}$$

Ces équations représentent le clapotis.

En faisant t constant, on a l'équation des couches horizontales ; ce sont des courbes trochoïdales semblables à celles d'une houle courante dans laquelle le rayon des

(1) *Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. LXXIII, séances du 28 août et 4 septembre 1871.

cercles serait variable et égal à

$$2r \cos \varepsilon t\,;$$

la longueur L est la différence, $x'' - x'$, entre les abscisses de deux points pour lesquels on aurait

$$\frac{\varepsilon}{U} x_0'' = (n+1)\,\pi,$$

$$\frac{\varepsilon}{U} x_0' = n\,\pi,$$

d'où l'on déduit la longueur

$$L = x'' - x' = x_0'' - x_0' = \frac{\pi U}{\varepsilon} = UT,$$

égale à la longueur de chacune des houles dont la superposition forme le clapotis.

Il est à remarquer que, dans le clapotis, U ne représente rien en propre, ce n'est que le rapport

$$\frac{L}{T}:$$

il n'y a pas de mouvement de propagation ; les sommets sont toujours aux mêmes points, ils ont pour abscisses constantes

$$\pi\frac{U}{\varepsilon},\ 2\pi\frac{U}{\varepsilon} \ldots\ldots n\pi\frac{U}{\varepsilon},\ \text{ou bien } L,\ 2L \ldots\ldots nL.$$

La forme des trochoïdes varie sans cesse. On a simplement des lignes droites horizontales pour des valeurs de εt égales à

$$\frac{\pi}{2},\ \frac{3\pi}{2} \ldots\ldots \frac{(2n+1)\pi}{2},$$

c'est-à-dire pour les valeurs de t égales à

$$\frac{T}{2},\ \frac{3T}{2}\ldots\ldots\ \frac{(2n+1)T}{2},$$

qui correspondent aux moments où les sommets de la houle primitive se croisent avec les creux de la houle réfléchie : les trochoïdes atteignent leur élévation maximum, qui est le double de la hauteur de la houle primitive, pour les valeurs de εt égales à

$$\pi,\ 2\pi\ldots.\ n\pi,$$

ou pour les valeurs t égales à

$$T,\ 2T\ldots.\ nT,$$

qui correspondent au moment où les sommets des deux houles se superposent.

Le clapotis ayant une hauteur variable, la position du point d'inflexion change, comme il est facile de s'en assurer. Le coefficient angulaire des trochoïdes est en effet

$$(45)\qquad \frac{\frac{dy}{dx_0}}{\frac{dx}{dx_0}} = -\frac{2\frac{\varepsilon}{U}\cos\varepsilon t\sin\frac{\varepsilon}{U}x_0}{1+2\frac{\varepsilon}{U}\cos\varepsilon t\cos\frac{\varepsilon}{U}x_0};$$

il devient maximum pour la valeur variable de x_0 qui est déterminée par l'équation

$$\cos\frac{\varepsilon}{U}x_0 = 2\frac{\varepsilon}{U}\cos\varepsilon t,$$

et qui correspond à des valeurs de x et de y variables avec le temps.

Les nœuds, ou points pour lesquels $y - z = 0$, ont également des abscisses variables qui sont

$$(46) \qquad x = x_0 - 2\, r \cos \varepsilon t.$$

La forme des couches verticales, donnée par les équations (43), lorsqu'on y prend x, y, z pour variables, en supposant x_0 constant, dépend à la fois de x_0 et de t : ces couches sont d'ailleurs des courbes logarithmiques, comme dans la houle.

Le mouvement de chaque molécule autour de son centre d'oscillation x_0, y_0 s'exécute suivant une ligne droite, dont l'équation est

$$(47) \qquad \frac{y + z}{x - x_0} = - \text{cotang.} \frac{\varepsilon}{U} x_0;$$

l'oscillation est verticale pour les sommets et horizontale pour les nœuds ; les mêmes molécules matérielles occupent sans cesse les sommets et les nœuds.

L'amplitude des oscillations, d'après l'égalité

$$(48) \qquad (y + z)^2 + (x - x_0)^2 = 4\, r^2 \cos^2 \varepsilon t,$$

est la même pour toutes les molécules d'une couche horizontale ; elle est égale à $2\, r$ pour la demi-oscillation, ou égale à $4\, r$ pour l'oscillation totale.

Le clapotis répond presqu'exactement à la notion inexacte de la houle, que D. Bernoulli acceptait comme point de départ dans son Mémoire sur le roulis et le tangage.

La combinaison de la houle primitive,

$$(3)\quad \begin{cases} x = x_0 + r \sin \varepsilon \left(t - \dfrac{x_0}{U}\right), \\ y = z \ + r \cos \varepsilon \left(t - \dfrac{x_0}{U}\right), \end{cases}$$

avec la houle réfléchie

$$x = x_0 - r \sin \varepsilon \left(t + T + \frac{x_0}{U}\right),$$

$$y = -z + r \cos \varepsilon \left(t + T + \frac{x_0}{U}\right),$$

qui résulterait de la rencontre avec un obstacle plus éloigné de l'axe des y que dans le cas précédent d'une longueur égale à $\frac{L}{2}$, donne le clapotis

$$(44 \text{ bis})\quad \begin{cases} x = x_0 + 2r \sin \varepsilon t \cos \dfrac{\varepsilon}{U} x_0, \\ y = -z + 2r \sin \varepsilon t \sin \dfrac{\varepsilon}{U} x_0. \end{cases}$$

Dans ce dernier clapotis, les trajectoires sont perpendiculaires aux précédentes; la tangente de leur angle avec l'axe des x est en effet

$$(47')\qquad \frac{y + z}{x - x_0} = \text{tang} \frac{\varepsilon}{U} x_0.$$

La distance des molécules à leurs centres d'oscillation est maximum dans l'un des clapotis quand elle est nulle

dans l'autre, car les équations (44 bis) donnent

$$(48\text{ bis})\qquad (y+z)^2+(x-x_0)^2=4r^2\sin^2 \varepsilon t.$$

Dans une masse liquide soumise simultanément aux deux clapotis, les molécules décriraient des cercles : on peut en effet reconnaître que le moment résultant des deux clapotis (44) et de (44 bis)

$$(49)\qquad \begin{cases} x = x_0 + 2r\sin\varepsilon\left(t-\dfrac{x_0}{U}\right), \\ y = -z + 2r\cos\varepsilon\left(t-\dfrac{x_0}{U}\right), \end{cases}$$

est une houle de même longueur que les quatre houles primitives et de hauteur double.

Pour voir maintenant jusqu'à quel point deux houles peuvent se superposer sans altération, c'est-à-dire reconnaître si le clapotis théorique obtenu constitue un mouvement de l'eau physiquement possible, il faut établir les équations analogues à (M), (N), (P), qui conviennent pour le cas d'axes fixes. Au lieu de deux variables, z et t, on en a trois, z, t, x_0.

L'équation (M) devient

$$(\mathrm{M}')\quad \frac{dy}{dx_0}\frac{d^2x}{dt\,dz}+\frac{dx}{dz}\frac{d^2y}{dt\,dx_0}=\frac{dx}{dx_0}\frac{d^2y}{dt\,dz}+\frac{dy}{dt}\frac{d^2x}{dt\,dx_0};$$

elle exprime que la quantité

$$\frac{d\sigma}{dz\,dx_0}=\frac{dy}{dx_0}\frac{dx}{dz}-\frac{dx}{dx_0}\frac{dy}{dz}$$

est indépendante du temps t.

L'équation (P) devient

$$(P') \quad \left(\frac{dx}{dx_0}\right)_0 \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_0 + g \left(\frac{dy}{dt}\right)_0 + \left(\frac{dy}{dx_0}\right)_0 \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)_0 = 0.$$

La condition (N) est remplacée par les trois équations

$$(N) \quad \frac{dx}{dt}\frac{d^2x}{dz\,dt^2} + \frac{dy}{dt}\frac{d^2y}{dz\,dt^2} = \frac{dx}{dz}\frac{d^3x}{dt^3} + \frac{dy}{dz}\frac{d^3y}{dt^3},$$

$$(N') \quad \frac{dx}{dz}\frac{d^3x}{dx_0 dt^2} + \frac{dy}{dz}\frac{d^3y}{dx_0 dt^2} = \frac{dx}{dx_0}\frac{d^3x}{dz\,dt^2} + \frac{dy}{dx_0}\frac{d^3y}{dz\,dt^2},$$

$$(N'') \quad \frac{dx}{dt}\frac{d^3x}{dx_0 dt^2} + \frac{dy}{dt}\frac{d^3y}{dx_0 dt^2} = \frac{dx}{dx_0}\frac{d^3x}{dt^3} + \frac{dy}{dx_0}\frac{d^3y}{dt^3}.$$

En essayant de satisfaire à ces cinq équations par les équations suivantes du mouvement des molécules,

$$x = x_0 - a \cos \epsilon t \sin mx_0,$$

$$y = -z + b \cos \epsilon t \cos mx_0,$$

on trouve que l'équation (P') est vérifiée moyennant les conditions

$$a^2 = b^2 = 4\,r^2$$
$$\epsilon^2 = gm,$$

et que l'équation (N') est vérifiée moyennant la condition

$$\frac{da}{dz} + mb = 0.$$

Ces trois conditions conduisent exactement aux équations obtenues, pour le clapotis, par la combinaison de deux houles.

Les trois équations (M), (N) et (N'') ne se trouvent pas vérifiées. La valeur des petits volumes, qui devrait être

indépendante de t, est

$$\frac{d\sigma}{dt\,dz} = 1 + b\frac{da}{dz}\cos^2 \iota t = 1 - \left(\pi\frac{2r}{L}\right)^2 \cos \iota t.$$

Le terme qui représente l'erreur est proportionnel au carré du rapport de r à L, comme ceux qui sont négligés par M. Boussinesq, à un premier degré d'approximation ; les valeurs numériques *maxima*, pour $\cos \iota t = 1$, sont les suivantes :

$\frac{r}{L}$	$\left(\pi\frac{2r}{L}\right)^2$
0,05	0,0987
0,10	0,3948
0,15	1,0966

Ce tableau montre que les équations (44) et (44 bis) deviennent tout-à-fait inexactes, dès que le clapotis résulte de la superposition de houles un peu inclinées.

Les deux équations (N) et (N') deviennent, après substitution des valeurs des dérivées de x et de y,

$$b\,\iota^3 \sin \iota t \cos mx_0 = 0 :$$

le maximum d'inexactitude a lieu pour les parties où l'oscillation est verticale et pour les instants où les positions des molécules coïncident avec les centres d'oscillation ; sa valeur numérique est proportionnelle à la première puissance du rapport de $\frac{h}{L}$ et en raison inverse de la racine carrée de L.

Pour le cas où la profondeur est finie, on trouve un

clapotis approché, comme on a une houle approchée, en supposant au lieu de r deux amplitudes a et b différentes pour l'excursion horizontale x et pour l'excursion verticale y, et variant en fonction de la profondeur suivant les formules (28) et (29). Deux causes d'erreurs distinctes se superposent et diminuent le degré d'approximation calculé plus haut, soit pour le cas de la houle dans une mer de profondeur finie, soit pour le cas du clapotis dans une mer de profondeur infinie.

Les équations ci-dessus, et la valeur de la vitesse absolue de l'eau dans le clapotis qui atteint une valeur maximum double de celle de la houle qui forme le clapotis, ne permettent pas de se rendre compte des efforts exercés par l'eau contre un quai vertical sur lequel l'onde se réfléchit : en effet, le quai doit être supposé, dans le clapotis, passer par le sommet d'une vague clapoteuse, pour satisfaire à la condition de continuité des volumes ; on ne trouverait ainsi qu'un simple frottement contre le quai. Dans le choc des vagues sur les digues, le fond manque, en même temps que l'espace en longueur, pour le développement des oscillations du liquide : ces deux causes d'augmentation de hauteur des vagues et de perturbation dans la nature du mouvement combinent leurs effets au moment où les vagues se brisent et se projettent en avant; l'amplitude des oscillations est alors bien plus que doublée. En supposant l'amplitude quadruplée et en attribuant à la pression en kilog. par mètre carré la valeur habituellement admise, 50 u^2, on se rend compte des efforts extraordinaires exercés sur les digues; on s'explique comment, par exemple à Cherbourg, dans un coup de vent survenu le 11 janvier 1866, des mortiers à bombes en fonte de fer du poids de 4.360 Kg. placés derrière le parapet de la Digue ont été traînés sur le terre-plein, à 3 ou 4^m de leur première position, jusqu'à la rencontre

avec les rails du chemin de fer qui les ont arrêtés. Étant admis que le coefficient de frottement d'une semelle de bois sur le granit rugueux est de 0,6 environ, et les mortiers présentant à peine, avec des formes arrondies, une section résistante de 1$^{mq.}$, de pareils effets de transport supposent des pressions de l'eau de 2,600 Kg. par mètre carré de section. Sur une surface plane frappée normalement, l'effort aurait atteint le chiffre de 5,000 Kg. environ par mètre carré; ce nombre de 5,000 Kg. suppose une valeur de *u* d'environ 10^{m}. De semblables effets, qui pourraient être sans doute dépassés de beaucoup dans d'autres circonstances, et surtout par les grandes vagues de l'Océan brisant sur un rocher, n'ont rien de commun avec les forces auxquelles les navires sont soumis au large, de la part de l'eau.

IV

DU MOUVEMENT DES CORPS FLOTTANTS SUR LA HOULE. — DE L'ÉQUATION DIFFÉRENTIELLE DU ROULIS.

24. — Considérons un corps flottant à la surface d'une mer houleuse, et supposons le mouvement oscillatoire de l'eau soumis aux lois rappelées dans le chapitre II : le flotteur subit, de la part du liquide, en chaque point de sa surface extérieure, la même pression P, équation (20), que le liquide dont il tient la place; les deux composants X et Y de la résultante des pressions, ou poussée hydrostatique par unité de volume, peuvent se calculer à l'aide des équations (1) du mouvement de l'eau; leur expression est

$$(50)\quad \left\{ \begin{aligned} VX &= V\frac{\delta}{g}\frac{d^2x}{dt^2}, \\ VY &= V\frac{\delta}{g}\left(g + \frac{d^2y}{dt^2}\right); \end{aligned} \right.$$

V étant le volume de la partie immergée du corps, δ le poids spécifique de l'eau et $\frac{d^2x}{dt^2}$, $\frac{d^2y}{dt^2}$ les accélérations des molécules liquides ; nous supposons le corps assez petit pour que ces accélérations soient constantes dans toute la portion d'eau déplacée par la carène. Si le corps flottant ne rencontre dans son mouvement de translation aucune résistance de la part du liquide, il n'est soumis qu'à la poussée dont les composants sont VX et VY et à son propre poids P : soient x_1 et y_1 ses coordonnées à chaque instant dans son mouvement de translation, le principe de D'Alembert donne les relations

$$(51) \quad \begin{cases} \frac{P}{g}\frac{d^2x_1}{dt^2} - VX = 0, \\ \frac{P}{g}\frac{d^2y_1}{dt^2} - P - VY = 0, \end{cases}$$

qui deviennent, en remplaçant X et Y par leurs valeurs,

$$(52) \quad \begin{cases} \frac{d^2x_1}{dt^2} = \frac{V\delta}{P}\frac{d^2x}{dt^2}, \\ \frac{d^2y_1}{dt^2} = g + \frac{V\delta}{P}\frac{d^2y}{dt^2}, \end{cases}$$

V étant quelconque, constant ou variable.

Si nous tenons compte de ce que la résistance du liquide tend à faire participer le flotteur au mouvement de l'eau et surtout à l'oscillation horizontale, et à conduire à l'égalité

$$x = x_1,$$

nous voyons que, de tous les moments représentés par les équations (52), le seul dans lequel il n'y ait en effet

pas de résistance, suivant ce que supposent ces équations, est celui qui satisfait constamment aux équations

$$\frac{V\delta}{P} = 1, \tag{53}$$

$$\left\{ \begin{aligned} x_1 &= x \\ y_1 &= y \end{aligned} \right. \tag{54}$$

L'équation (53) exprime que, sur la houle comme en eau calme, le volume de carène immergé est constant, si les forces extérieures qui sollicitent le navire ne se composent que de la pesanteur et de la poussée (1). Les équations (54) signifient que le flotteur a le même mouvement de translation circulaire que les molécules d'eau, ou, du moins, que c'est le seul état définitif et permanent qui puisse exister : le mouvement véritable s'en rapproche à mesure que l'effet des conditions initiales disparaît; le flotteur participerait de même au mouvement de translation uniforme de l'eau avec la vitesse U, si ce mouvement existait réellement.

25. — Etudions maintenant le mouvement angulaire du flotteur.

L'équation de ce mouvement autour d'un axe quelconque s'établit en écrivant que la somme des moments autour de cet axe de toutes les forces extérieures et de toutes les forces d'inertie des molécules supposées appliquées aux molécules est nulle.

Le mouvement angulaire du navire peut être rapporté,

(1) Comp. avec la fin du n° 10 du mémoire de M. de St-Venant: *Du roulis sur mer houleuse*, et avec le n° 21 de mon *Etude sur la houle et le roulis*, dont j'ai dû, ici, développer les calculs.

soit à la verticale absolue, soit à la normale à la houle, animée elle-même d'un mouvement de rotation suivant les angles θ. Le roulis φ mesuré de la seconde manière est le roulis relatif; le roulis mesuré par rapport à la normale, $\theta + \varphi$, est le roulis absolu.

Les forces d'inertie ne dépendent que du mouvement de translation et du roulis absolu. On peut les considérer comme se composant : 1° d'une résultante de translation appliquée au centre de gravité et ayant pour projections

$$(55) \qquad \left\{ \begin{aligned} J_x &= -\frac{V\delta}{g} \frac{d^2x_1}{dt^2}, \\ J_y &= -\frac{V\delta}{g} \frac{d^2y_1}{dt^2}, \end{aligned} \right.$$

x_1, y_1 étant les coordonnées du centre de gravité ; 2° d'un couple de rotation ayant pour moment

$$(56) \qquad -\sum mr^2 \frac{d^2(\varphi + \theta)}{dt^2},$$

Σmr^2 étant le moment d'inertie autour de l'axe de rotation passant par le centre de gravité. Si les moments sont pris par rapport au centre de gravité, le moment des forces d'inertie se borne à celui de ce dernier couple.

Les forces extérieures se composent du poids — P et de la poussée VF déterminée par les équations (50) dans lesquelles nous considérons désormais x_1, y_1 comme égaux à x, y ; l'équation (19) donne la valeur de F toute calculée. Le moment du poids par rapport au centre de gravité est nul ; quant à la poussée, comme elle est normale à la houle, elle a exactement le même bras de levier qu'elle aurait en eau calme pour une inclinaison égale au

roulis relatif φ, c'est-à-dire que son bras de levier ne dépend que du roulis relatif.

Le moment de la poussée est ainsi, suivant une formule bien connue,

$$(57) \qquad \mathcal{M} = - \mathrm{VF} (\rho - a) \sin \varphi :$$

indiquons en peu de mots comment ce moment (57) des forces extérieures peut être considéré comme celui d'un couple.

En eau calme, F est constant, la poussée VF est égale et opposée à P. Si le navire s'incline, par exemple en tournant d'un angle φ dans le sens positif, Pl. II, fig. 1, le centre de carène C se déplace, il s'éloigne de la partie qui émerge et se rapproche de celle qui immerge; s'il vient tomber en C′, à droite du centre de gravité G, le poids et la poussée forment un couple de redressement appelé couple de stabilité, dont le bras de levier est

$$(\rho - a) \sin \varphi,$$

suivant la notation ordinaire

$$\mathrm{CM} = \rho \quad \text{et} \quad \mathrm{CG} = a.$$

Sur la vague, Pl. II. fig. 3, le poids P et la poussée VF ne sont plus égaux et opposés, mais leur résultante est égale et opposée à la résultante de J_x et de J_y : l'ensemble des forces P, VF, J_x, J_y, si l'on compose la force P avec les forces d'inertie J_x, J_y, supposées appliquées au corps, constitue un couple dans lequel chaque force est égale à VF et dont le bras de levier est, comme en eau calme,

$$(\rho - a) \sin \varphi.$$

Cette manière très-commode de formuler le couple de

stabilité en fonction du simple sinus de l'inclinaison ne doit pas laisser perdre de vue que la hauteur métacentrique $\rho - a$ qui y figure est une variable dépendant de φ, et que, par suite, la loi qui lie le moment $\mathfrak{M}$ à l'inclinaison φ n'est nullement une simple proportionnalité de M à sin φ. La valeur de a est seule constante ; celle de ρ s'obtient, comme on sait, en égalant VF ρ sin φ au moment du couple de redressement des deux onglets, l'un immergé, l'autre émergé, c'est-à-dire au moment du couple de stabilité de forme. La différentielle du moment du couple de stabilité de forme est, pour une augmentation infiniment petite $d\varphi$ de l'inclinaison φ,

$$\frac{1}{3} \mathrm{F} \cos \varphi \, d\varphi \int y^3 \, dx,$$

les y étant les ordonnées de la flottaison par rapport à l'intersection des deux flottaisons successives, et l'intégrale de $y^3 \, dx$ devant être prise pour les deux bords. La valeur de $\mathfrak{M}$ est donc

$$(58) \qquad -\mathfrak{M} = \frac{1}{3} \mathrm{F} \int_0^{\varphi} d\varphi \int y^3 \cos \varphi \, dx - \mathrm{VF} \, a \sin \varphi,$$

pour une valeur déterminée de φ.

Dans le cas particulier où la surface extérieure du navire est une surface de révolution dont la flottaison forme un plan diamétral, toutes les flottaisons successives se coupent suivant l'axe de révolution de la surface et les y sont indépendants de φ ; si nous appelons $\Sigma \, y_1^3 \, \Delta x$ une somme de produits faite pour un seul côté de la flottaison, à l'aide d'ordonnées y, assez rapprochées pour que cette somme puisse être substituée à l'intégrale, nous avons

$$(59) \qquad -\mathfrak{M} = \frac{2}{3} \mathrm{F} \sum y^3 \Delta x \sin \varphi - \mathrm{P} \, a \sin \varphi :$$

c'est le seul cas où $\mathcal{M}$ soit proportionnel à sin φ; la valeur constante de ρ est alors

$$(60) \qquad \rho = \frac{2 \sum y_1^3 \Delta x}{3 \mathrm{V}}.$$

En supposant, ce qui est souvent plus près de la réalité, que la surface extérieure soit un cylindre à génératrices verticales, l'axe d'intersection des flottaisons est encore invariable, mais la valeur de y pour une valeur quelconque de φ est

$$y = \frac{y_1}{\cos \varphi},$$

et, d'après l'intégrale

$$\int \frac{d\varphi}{\cos^2 \varphi} = \operatorname{tang} \varphi,$$

nous arrivons à

$$(61) \qquad -\mathcal{M} = \frac{2}{3} \mathrm{F} \sum y_1^3 \delta x \operatorname{tang} \varphi - \mathrm{P} a \sin \varphi;$$

la valeur de $\mathcal{M}$ se rapproche plutôt de la proportionnalité à tang φ que de celle à sin φ : nous avons, dans les mêmes conditions,

$$(62) \qquad \rho = \frac{2 \sum y_1^3 \delta x}{3 \mathrm{V} \cos \varphi}.$$

Dans la réalité, quand φ augmente en restant dans la limite des angles habituellement atteints dans le roulis, la valeur de ρ va en croissant. On trouvera à la fin du chapitre VI la description d'une méthode expérimentale suffisamment exacte et beaucoup plus commode que la méthode géométrique, pour la détermination des diverses valeurs de ρ, correspondant à diverses inclinaisons φ.

Nous avons à considérer maintenant le flotteur comme soumis sur la houle au couple de stabilité dont le moment est

$$- P(\rho - a)\frac{F}{\delta}\sin\varphi,$$

F étant une variable dépendant de t. Nous supposerons, pour ne pas compliquer les équations, que ρ est constant, sauf à tenir compte à la fin du n° 45 du principal effet de ses variations; nous supposerons que le couple de stabilité agit dans un plan perpendiculaire au plan diamétral du navire, de manière à ne produire qu'un simple mouvement de roulis, et enfin que l'axe horizontal mené par le centre de gravité dans le plan diamétral est un axe principal d'inertie.

26. — D'après les principes précédents, et en faisant toujours abstraction de la résistance du liquide, l'équation différentielle du roulis est

$$(63)\quad -\sum mr^2\frac{d^2(\varphi+\theta)}{dt^2} - P(\rho - a)\frac{F}{\delta}\sin\varphi = 0.$$

Il est à remarquer que l'équation (63) n'est pas homogène par rapport aux dimensions du navire et que, si l'on snppose celles-ci infiniment petites, elle indique pour φ une valeur nulle : un flotteur très-petit et non résistant tend donc à rester normal à la houle, en vertu même de sa stabilité (1).

La résistance du liquide, produite, soit par le roulis

(1) La résistance de carène tendrait aussi à disparaître de l'équation, comme ayant un moment du 5ᵉ degré par rapport aux dimensions, si elle était toujours proportionnelle au carré de la vitesse, même pour les très-petites vitesses.

relatif φ du navire, soit par le mouvement de l'eau, sera étudiée au chapitre suivant; appelons ici M_t son moment total par rapport au centre de gravité, en y supposant compris le moment de la résistance de la voilure et des œuvres mortes dans l'air (1) : l'équation différentielle du roulis, en tenant compte de la résistance, est

$$(64)\quad -\sum mr^2 \frac{d^2(\varphi+\theta)}{dt^2} - P(\rho-a)\frac{F}{\delta}\sin\varphi + M_t = 0\,;$$

en développant et en posant

$$\frac{P(\rho-a)}{\Sigma\, mr^2} = e^2 = \frac{\pi^2}{T_n^2},$$

T_n étant la durée d'oscillation en calme,

$$\frac{M_t}{\Sigma\, mr^2} = \Omega,$$

cette équation devient

$$(65)\qquad -\frac{d^2\varphi}{dt^2} - \frac{d^2\theta}{dt^2} - e^2\frac{F}{\delta}\sin\varphi + \Omega = 0.$$

Il faut remplacer $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ par sa valenr (16), puisque, d'après le n° 22, les coordonnées du flotteur à chaque instant et, par suite, la valeur de θ en fonction de t, sont les mêmes que pour une molécule liquide; il faut aussi remplacer F par sa valeur (19); il ne reste plus que deux variables φ et t. L'équation (65) est l'équation différentielle du roulis φ en fonction du temps.

(1) M_t représente le moment total des résistances, égal à la somme des moments des résistances actives et des résistances passives qui seront distinguées plus tard.

Ces équations différentielles fournissent quelques conclusions intéressantes dans le cas où le terme Ω peut être négligé. Nous avons vu la tendance pour de petits modèles de navires supposés placés sur la houle, à se rapprocher du mouvement de la planche placée à plat, plutôt que de celui de la planche placée debout ou du bâton lesté ; cela a peu d'importance pratique, parce que les résistances, négligées dans ce cas, jouent un grand rôle dans les mouvements accomplis dans l'eau; mais, si l'on considère des mouvements qui s'exécutent dans l'air, les conclusions seront au contraire bien fondées et l'on aura le mouvement angulaire exact d'un pendule placé à bord du flotteur. Considérons en effet le mouvement d'un pendule de masse m et de longueur λ voisin de l'axe de rotation du flotteur; la résultante du poids et de la force d'inertie, égale et opposée à la réaction du point d'appui, est, pour le pendule comme pour le flotteur dont le pendule partage le mouvement de translation,

$$mg\frac{F}{\delta},$$

et elle est constamment normale aux vagues. Le mouvement angulaire du pendule est donc déterminé par l'équation différentielle

$$-m\lambda^2\frac{d^2(\varphi+\theta)}{dt^2}-mg\lambda\frac{F}{\delta}=0,$$

dans laquelle on peut faire

$$\frac{g}{\lambda}=\frac{\pi^2}{T'^2},$$

T' étant la durée d'oscillation du pendule. En remarquant que, dans l'équation (16), $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ est proportionnel à ϵ^4 ou à $\frac{\pi^2}{T^2}$,

une certaine proportion pour tenir compte de la résistance : or cette manière d'opérer est entièrement inexacte ; les réductions d'amplitude, dues aux résistances passives que l'on a en vue, croissent plus vite que les amplitudes, de telle sorte qu'elles imposent à ces dernières une limite absolue ; la résistance passive est un frein et non pas un modérateur.

En second lieu, on suppose que $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ est simplement proportionnel à $\sin \epsilon t$ et que la poussée F est constante ; on a ainsi, au lieu de l'équation (65), une simple équation linéaire à coefficients constants, avec un terme en $\sin \epsilon t$,

$$(67) \qquad \frac{d^2\varphi}{dt^2} + Q\varphi + S \sin \epsilon t = 0,$$

$\sin \varphi$ étant remplacé par φ. L'intégration est alors facile.

Il nous faut évaluer la gravité des erreurs ainsi commises, pour divers états d'agitation de la mer. Les équations (16) et (19) donnent pour valeurs en réalité variables, des coefficients Q et S,

$$(68) \quad Q = -e^2 \sqrt{1 + \frac{\epsilon^4 h^2}{g^2} - 2\frac{\epsilon^2 h}{g} \cos \epsilon t},$$

$$(69) \quad S = \frac{\epsilon^4 h \left(1 - \frac{\epsilon^4 h^2}{g^2}\right)}{g\left(1 + \frac{\epsilon^4 h^2}{g^2} - 2\frac{\epsilon^2 h}{g} \cos \epsilon t\right)^2},$$

Pendant le passage d'une demi-vague, quand ϵt passe de 0 à π, ces deux coefficients varient en sens inverse l'un de l'autre, et, pour tous les deux, mais surtout pour le se-

cond, les variations sont très-étendues. Le rapport de la valeur maximum à la valeur minimum de Q est le rapport de

$$\left(1+\pi\frac{h}{L}\right) \text{ à } \left(1-\pi\frac{h}{L}\right).$$

Celui du maximum au minimum de S est le rapport de

$$\left(1+\pi\frac{h}{L}\right)^4 \text{ à } \left(1-\pi\frac{h}{L}\right)^4:$$

il est à remarquer que, dans ce dernier, les maxima et les minima sont atteints à des instants où la variable sin ϵt, dont S est le coefficient, devient nulle.

Si l'on attribue au rapport de h à L les trois valeurs 0,05, 0,10 et 0,15 et que l'on calcule numériquement les termes auxquels les maxima et les minima sont proportionnels, on forme le tableau suivant :

$\frac{h}{L}$	VARIATION DE Q			VARIATION DE S		
	Maximum Q_1	Minimum Q_2	$\frac{Q_1}{Q_2}$	Maximum S_1	Minimum S_2	$\frac{S_1}{S_2}$
0,05	1,157	0,843	1,372	1,792	0,505	3,548
0,10	1,314	0,686	1,915	2,982	0,344	8,668
0,15	1,471	0,529	2,780	4,685	0,078	60,06

On voit que Q_1, Q_2, S_1, S_2 diffèrent beaucoup de l'unité, et que, même pour les vagues au rapport 0,05, il est absolument impossible de considérer les coefficients Q et S comme des constantes.

L'erreur commise en remplaçant sin φ par φ est relative-

ment petite; elle est seulement de 0,285 pour $\sin \varphi = 0{,}5$, c'est-à-dire pour le roulis bien rarement atteint de 30°. Toutefois, cette substitution de φ à $\sin \varphi$ n'est permise que dans les équations où le terme de la résistance figure, car celles où l'on néglige la résistance conduisent, pour φ, à toutes les valeurs imaginables.

27. — Après avoir ainsi reconnu l'impossibilité d'obtenir une intégrale convenablement approchée de l'équation (65), on trouve une application intéressante des calculs qui précèdent dans l'analyse de quelques travaux tout récents et fondés précisément sur cette intégration (1).

Dans cette étude critique, que j'abrégerai le plus possible, il se rencontre une controverse importante qui porte sur les bases de la question, sur la nature des forces en jeu dans le roulis.

L'ancienne méthode et plusieurs points de théorie qui m'avaient paru tomber devant la connaissance du mouvement de l'eau dans la houle trochoïdale, ont été reproduits dans l'*Etude du roulis du navire sur mer agitée*, de M. Duhil de Bénazé. Ce travail, riche en observations intéressantes sur la houle, est d'ailleurs particulièrement digne d'estime pour avoir été commencé en cours de campagne, loin des facilités de travail que l'on trouve à terre et sans la connaissance des recherches nouvelles qui s'étaient produites depuis peu d'années. Il permet de préciser et de circonscrire exactement les débats, car les solutions controversées perdent le caractère d'indications plus ou moins vagues qu'elles gardaient quelquefois, par exemple dans le cours de M. Reech; toutes les conséquences pra-

(1) Voir *Etudes sur la houle et le roulis*, n° 28, p. 5 et *Notes sur la théorie et l'observation*... n° 17, p. 24.

tiques ont été déduites avec soin et acceptées sans hésitation; les erreurs, en prenant un caractère plus grave, sont devenues plus faciles à combattre.

Tout d'abord, comme M. Bénazé a vérifié par le calcul que les équations (1) satisfont aux lois physiques des liquides et conviennent pour représenter les vagues, et comme il a reconnu par expérience l'exactitude de l'équation (8) déduite de ces équations, il adopte, p. 50 de son *Etude*, la véritable valeur des deux composantes, X et Y, de la poussée par unité de volume, et plus loin, p. 51, les valeurs (13), (15), (16), de o, $\frac{do}{dt}$, $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ (1) : le point de départ est donc identiquement le même que le mien propre.

Le rôle véritable de la résistance de carène se trouve indiqué lorsqu'il est admis, p. 94, que cette force peut imposer aux amplitudes une limite qui constitue un roulis constant; ailleurs, au contraire, dans divers calculs et surtout à la page 57, la résistance n'est considérée que comme un simple modérateur qui ne peut modifier la nature du roulis; en fait, elle ne figure point dans les équations.

Les différents termes de l'équation du roulis, la résistance étant laissée de côté, sont établis à l'origine avec leur valeur exacte; puis les facteurs gênants pour l'intégration sont successivement négligés, sans l'intervention des calculs numériques qui auraient montré leur impor-

(1) Dans la notation de M. de Bénazé, que je remplace ici par la mienne, K est ce que j'appelle ε; K' ce que j'appelle e; a est mon U ; i est mon θ ; θ est mon $\theta + \varphi$ et par suite $\theta - i$, ou θ_1, est mon φ ; d est ce que j'appelle a selon l'habitude ; c est la profondeur z, μ est le moment d'inertie Σmr^2; nous verrons tout-à-l'heure ce que représente ν.

ment petite; elle est seulement de 0,285 pour sin $\varphi = 0,5$, c'est-à-dire pour le roulis bien rarement atteint de 30°. Toutefois, cette substitution de φ à sin φ n'est permise que dans les équations où le terme de la résistance figure, car celles où l'on néglige la résistance conduisent, pour φ, à toutes les valeurs imaginables.

27. — Après avoir ainsi reconnu l'impossibilité d'obtenir une intégrale convenablement approchée de l'équation (65), on trouve une application intéressante des calculs qui précèdent dans l'analyse de quelques travaux tout récents et fondés précisément sur cette intégration (1).

Dans cette étude critique, que j'abrégerai le plus possible, il se rencontre une controverse importante qui porte sur les bases de la question, sur la nature des forces en jeu dans le roulis.

L'ancienne méthode et plusieurs points de théorie qui m'avaient paru tomber devant la connaissance du mouvement de l'eau dans la houle trochoïdale, ont été reproduits dans l'*Etude du roulis du navire sur mer agitée*, de M. Duhil de Bénazé. Ce travail, riche en observations intéressantes sur la houle, est d'ailleurs particulièrement digne d'estime pour avoir été commencé en cours de campagne, loin des facilités de travail que l'on trouve à terre et sans la connaissance des recherches nouvelles qui s'étaient produites depuis peu d'années. Il permet de préciser et de circonscrire exactement les débats, car les solutions controversées perdent le caractère d'indications plus ou moins vagues qu'elles gardaient quelquefois, par exemple dans le cours de M. Reech; toutes les conséquences pra-

(1) Voir *Etudes sur la houle et le roulis*, n° 28, p. 5 et *Notes sur la théorie et l'observation*... n° 17, p. 24.

tiques ont été déduites avec soin et acceptées sans hésitation; les erreurs, en prenant un caractère plus grave, sont devenues plus faciles à combattre.

Tout d'abord, comme M. Bénazé a vérifié par le calcul que les équations (1) satisfont aux lois physiques des liquides et conviennent pour représenter les vagues, et comme il a reconnu par expérience l'exactitude de l'équation (8) déduite de ces équations, il adopte, p. 50 de son *Etude*, la véritable valeur des deux composantes, X et Y, de la poussée par unité de volume, et plus loin, p. 51, les valeurs (13), (15), (16), de o, $\frac{do}{dt}$, $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ (1) : le point de départ est donc identiquement le même que le mien propre.

Le rôle véritable de la résistance de carène se trouve indiqué lorsqu'il est admis, p. 94, que cette force peut imposer aux amplitudes une limite qui constitue un roulis constant; ailleurs, au contraire, dans divers calculs et surtout à la page 57, la résistance n'est considérée que comme un simple modérateur qui ne peut modifier la nature du roulis; en fait, elle ne figure point dans les équations.

Les différents termes de l'équation du roulis, la résistance étant laissée de côté, sont établis à l'origine avec leur valeur exacte; puis les facteurs gênants pour l'intégration sont successivement négligés, sans l'intervention des calculs numériques qui auraient montré leur impor-

(1) Dans la notation de M. de Bénazé, que je remplace ici par la mienne, K est ce que j'appelle ε ; K' ce que j'appelle e ; a est mon U ; i est mon θ ; θ est mon $\theta + \varphi$ et par suite $\theta - i$, ou θ_1, est mon φ ; d est ce que j'appelle a selon l'habitude ; c est la profondeur z, μ est le moment d'inertie Σmr^2; nous verrons tout-à-l'heure ce que représente ν.

tance; les résultats supposent en fin de compte une houle de profil sinusoïdal sur laquelle la poussée par unité de volume serait constante, comme dans le premier mémoire de M. Froude.

Considérons d'abord le moment de stabilité : M. de Bénazé en donne, p. 53, 54, l'expression exacte, sous la forme

$$-\mathrm{P}(\rho - a)\frac{\iota h \sin \iota t}{\mathrm{U}\sin\theta}\sin\varphi,$$

plus un certain terme destiné à tenir compte de l'inclinaison variable des couches du niveau, sur lequel il est inutile de s'arrêter; ce terme est négligé, p. 58, avant l'intégration et sans avoir été l'objet d'aucune évaluation. Il suffirait de remplacer dans cette expression sin θ par sa valeur déduite de (13)

$$\sin\theta = \frac{\operatorname{tang}\theta}{\sqrt{1+\operatorname{tang}^2\theta}} = \frac{\iota^2 h \sin\iota t}{\sqrt{g^2+\iota^4 h^2 - 2\iota^2 h\cos\iota t}},$$

pour avoir la valeur réelle du couple de stabilité en fonction de t; mais au lieu de cela, le facteur

$$\frac{\iota h \sin\iota t}{\mathrm{U}\sin\theta}$$

est simplement supprimé, et le moment de stabilité posé égal à

$$\mathrm{P}(\rho - a)\varphi,$$

ce qui revient à négliger, dans l'équation différentielle, les variations, très-sensibles et calculées plus haut, du coefficient Q, et à remplacer sin φ par φ, quoique rien dans l'équation n'empêche φ d'atteindre une valeur quelconque, la résistance de l'eau n'étant pas prise en considération.

Pour l'étude des calculs qui suivent, il faut remarquer

que M. de Bénazé prend pour inconnue $\theta + \varphi$ et non pas φ; son équation différentielle du roulis, la résistance étant négligée et le moment de stabilité remplacé par la valeur ci-dessus, est, au bas de la page 58,

$$(70) \qquad \frac{d^2(\varphi+\theta)}{dt^2} + e^2\varphi = 0$$

sauf que le second membre renferme un certain terme

$$\frac{\nu}{\Sigma \mathrm{mr}^2}\,\frac{\epsilon^2 h}{\mathrm{U}}\sin \epsilon t$$

qui résistera à toutes les simplifications et que nous étudierons à part. Cette équation est ensuite remplacée, p. 60, par

$$(71) \quad \frac{d^2(\varphi+\theta)}{dt^2} + e^2(\theta+\varphi) + e^2\,\frac{\epsilon h}{\mathrm{U}}\sin \epsilon t = 0,$$

qui ne renferme que deux variables $\varphi + \theta$, et t : le passage de l'équation (70) à l'équation (71) suppose que l'on a remplacé φ par $\varphi + \theta - \theta$, développé, et fait

$$\theta = -\frac{\epsilon h}{\mathrm{U}}\sin \epsilon t = -\frac{\epsilon^2 h}{g}\sin \epsilon t,$$

ce qui n'est ni la valeur de θ, ni celle de tang θ, comme le suppose M. de Bénazé. Pour analyser l'erreur ainsi commise, on peut supposer que l'on ait remplacé φ par $\varphi + \theta - \theta$, avant de substituer l'arc en sinus; on a ainsi, en développant,

$$\sin\varphi = \sin(\varphi+\theta)\cos\theta - \cos(\varphi+\theta)\sin\theta;$$

et, pour arriver à

$$\sin\varphi = \varphi + \theta + \frac{\epsilon_1 h}{g}\sin \epsilon t,$$

on voit qu'il faut :

1° Remplacer sin $(\varphi + \theta)$ par $\varphi + \theta$, ce qui est un peu moins permis que de remplacer sin φ par φ.

2° Remplacer cos $(\varphi + \theta)$ par l'unité, ce qui introduit une erreur plus notable encore.

3° Remplacer par l'unité, ce qui n'est évidemment pas une grosse erreur, le facteur cos θ ou

$$\frac{-g + \varepsilon^2 r \cos \varepsilon t}{\sqrt{g^2 + \varepsilon^4 r^2 - 2g\varepsilon^2 r \cos \varepsilon t}};$$

4° Remplacer sin θ par $\frac{\varepsilon^2 h}{g}$ sin εt, ce qui revient à remplacer dans la valeur sin θ donnée plus haut, le dénominateur variable

$$\sqrt{1 + \pi^2 \frac{h^2}{L^2} - 2\pi \frac{h}{L} \cos \varepsilon t},$$

par l'unité, et à commettre ainsi une nouvelle erreur égale à celle déjà faite en supposant la poussée constante et en négligeant les variations du coefficient Q.

Dans ces conditions, l'intégration de l'équation (71), à supposer qu'on la fasse exactement, est un exercice de mathématiques étranger à l'étude du roulis.

La partie originale et tout-à-fait nouvelle du travail de M. de Bénazé consiste dans l'introduction, dans l'équation (71), d'un terme exprimant une certaine action de l'eau, dite hydrodynamique, dont la cause n'est ni connue, ni même recherchée, mais qui se révèlerait par certains effets.

M. Reech invoquait autrefois une considération fondée sur une notion inexacte du mouvement de l'eau dans les vagues, pour exprimer comment le navire n'atteint point, sans roulis relatif φ, les inclinaisons excessives que le théorème de D. Bernoulli assigne à la position d'équilibre

sur les vagues. L'éminent Directeur supposait qu'un certain volume d'eau, voisin de la surface et semblable à une carène, conserve une forme invariable dans le mouvement de la houle, de telle sorte que l'on peut le supposer solidifié, sans changer les conditions de son mouvement angulaire. Ce morceau de glace, suivant le mot de M. Reech, qui a son centre de carène au centre de gravité, ne pourrait suivre le mouvement de la houle que s'il se trouvait sollicité, en dehors de la poussée, par des forces extérieures ayant pour moment

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} \sum m'r^2, \tag{72}$$

$\Sigma\, m'r^2$ étant son moment d'inertie. En poursuivant l'hypothèse et en supposant, à la place du morceau de glace, la carène d'un navire laquelle, évidemment, est soumise aux mêmes actions que le morceau de glace de la part de l'eau, on se trouve conduit à appliquer au navire, outre la poussée VF, le couple

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} \sum m'r^2.$$

Ce couple, d'après son signe, tend à rapprocher de la normale à la houle, la direction de la position d'équilibre du navire, beaucoup plus inclinée que cette normale, selon D. Bernoulli.

M. de Bénazé introduit à son tour le moment précédent de telle sorte qu'il écrit l'équation différentielle (70) du roulis sous la forme

$$\sum m r^2 \frac{d^2(\varphi + \theta)}{dt^2} + P(\rho - a)\varphi - \sum m'r^2 \frac{d^2\theta}{dt^2} = 0;$$

il adopte la notation

$$\sum m' r^2 = \nu.$$

$$\frac{\sum m' r^2}{\sum m r^2} = N.$$

les deux quantités ν et N se retrouvent dans toute la suite du calcul; à la fin, la valeur définitive des amplitudes $\varphi + \psi$ contient le facteur $(N - 1)$ ou $\left(\frac{\nu - \Sigma mr^2}{\Sigma mr^2}\right)$, qu'il importerait, comme cela est indiqué aux conclusions, p. 98 et suivantes, de rendre le plus petit possible. Ce facteur entre dans ce qui est nommé à plusieurs reprises *terme du roulis* et tient une grande place dans la discussion de ce terme ; l'auteur se préoccupe même des changements de valeur de ν, qui peuvent résulter du roulis relatif : mais il n'en calcule, p. 52, l'expression compliquée qui figure dans l'équation (1), p. 56, que pour négliger ces termes avant l'intégration.

Ce calcul avait une raison d'être quand il fallait à tout prix trouver un correctif, indiqué par les faits, à la théorie alors adoptée de D. Bernoulli, et quand, d'ailleurs, ce qui se passe à l'intérieur de l'eau était inconnu. Maintenant la connaissance du mouvement de l'eau permet de calculer toutes les forces en jeu; il n'y a rien, parmi elles, qui ressemble au couple ci-dessus. En même temps, on reconnaît que l'effet attribué à ce couple n'existe pas. Un volume d'eau considéré isolément au milieu de la masse en mouvement, ne tourne pas sur lui-même; il se déforme sans cesse; quand les couches horizontales tournent dans un sens, les couches verticales tournent dans le sens opposé; il n'est pas loisible de considérer une portion de l'eau

comme solidifiée, sans que son mouvement angulaire soit complètement changé; ce dernier point aurait pu d'ailleurs être établi *a priori*, même sans que l'on connût la théorie complète de la houle.

Pour préciser ce qui se passe dans la houle, considérons un volume d'eau quelconque V et le point d'application C de la résultante VF des pressions hydrostatiques extérieures auxquelles il est soumis : ces pressions sont les seules forces qui s'exercent entre deux parties contiguës du liquide, puisqu'il n'y a pas entre ces parties de vitesse ou de déplacement relatif de grandeur finie ni par suite de frottement notable. Les deux forces P et VP sont dans un même plan; elles sont même appliquées au même point C si le volume V est petit par rapport aux vagues; dans tous les cas, elles ont une résultante unique appliquée quelque part en D : considérons les rayons allant de toutes les molécules liquides au point D, et soit *i* les angles de ces lignes avec la verticale. Le moment de toutes les forces d'inertie du liquide par rapport au point D est à un instant quelconque

$$\sum m' r^2 \frac{d^2 i}{dt^2}; \tag{73}$$

dans cette somme, l'accélération angulaire n'est nullement, comme pour un solide, une constante que l'on puisse mettre en facteur commun : on ne peut pas remplacer le moment (73) par

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} \sum m' r^2; \tag{72}$$

ce dernier moment n'a aucun rapport avec le moment des forces d'inertie de l'eau. Dans le liquide, il y a un *moment des forces d'inertie*, mais non un *moment d'inertie*.

Si l'on cherche la valeur du moment (73), par rapport au point D, elle est facile à trouver. En effet, en vertu de l'indépendance des molécules liquides, il y a équilibre sur chaque molécule en particulier, entre la poussée, la pesanteur et la force d'inertie tranportée sur la molécule; les forces d'inertie ont donc une résultante unique qui passe par le point D, et qui est égale et opposée à la résultante de P et de V F. Par suite on a sans cesse

$$\sum m' r^2 \frac{d^2 i}{dt^2} = 0;$$

ce qui revient, en supposant que l'on ait appelé ν le rapport

$$\frac{\sum m' r^2 \frac{d^2 i}{dt^2}}{\frac{d^2 \theta}{dt^2}},$$

à faire $\nu = o$, $N = o$ dans toutes les équations de M. de Bénazé et dans le terme final du roulis (1).

(1) Il est à remarquer que ces observations s'appliquent à un flotteur infiniment petit aussi bien et même mieux qu'à un navire; elles ne seraient en défaut que pour un flotteur qui n'aurait qu'une seule dimension, largeur ou hauteur, et qui ne déplacerait d'eau que dans une seule couche liquide, soit horizontale, soit verticale, si un tel flotteur pouvait se concevoir.

Le mouvement d'un flotteur véritable composé d'eau solidifiée, résulterait de la stabilité, c'est-à-dire de la valeur de ρ à chaque instant, a étant nul. Quand le moment d'inertie est relativement très-faible, la stabilité imprime exactement au flotteur le *roulis de vagues;* c'est le cas d'un flotteur infiniment petit; quand le moment d'inertie n'est pas négligeable, il y a de plus un roulis relatif. Si l'eau solidifiée par la pensée se trouve tout entière immergée à une certaine profondeur, la valeur de $\rho - a$ est nulle, la poussée et le poids passent constamment par le

Ce terme du roulis, auquel tous les angles de roulis $\varphi + \theta$ seraient proportionnels, a pour expression complète

$$e^2 (N - 1); \tag{74}$$

il exprime donc une seconde loi très-simple, et qui, si elle était exacte, donnerait les moyens de perfectionner simultanément toutes les qualités nautiques. En effet, T_n étant la durée des oscillations à laquelle la vivacité du roulis est inversement proportionnelle, on a

$$e^2 = \frac{P(\rho - a)}{\Sigma m r^2} = \frac{\pi^2}{T_n^2};$$

en diminuant e, on diminuerait à la fois, et les amplitudes, proportionnellement au carré de e, et la vivacité des mouvements, proportionnellement à la première puissance de ce coefficient.

Malheureusement l'introduction du facteur $\rho - a$ comme facteur commun dans l'expression intégrée de $\varphi + \theta$, et l'introduction de e^2 dans le terme du roulis, qui en résulte, proviennent simplement de ce que les constantes de l'intégration ont été choisies de manière à faire disparaître, de l'intégrale, le terme qui ne contient pas $\rho - a$. Or, les conditions initiales d'où dépendent les valeurs de ces constantes ne sont point des données dont on puisse disposer, elles sont et doivent rester quelconques; si par hasard elles se trouvent offrir au début quelque caractère particulier, toute trace doit bientôt s'en effacer, comme M. de St-Venant a eu soin d'en faire la remarque dans son *Roulis sur mer houleuse*, p. 64. Il est tout-à-fait impossi-

centre de gravité : le mouvement ne dépend plus que de la résistance de l'eau qui arrête ou entraîne le corps plongé et du moment d'inertie du corps.

ble d'attribuer aux conditions initiales un rôle durable du genre de celui des actions continues qui produisent le mouvement, et de modifier, d'après les premières, les équations générales exprimant l'effet des secondes.

La proportionnalité que M. de Bénazé a cru établir entre l'amplitude des roulis et la hauteur métacentrique $\rho - a$ conduirait d'ailleurs à des conséquences qui prémunissent d'avance contre l'adoption d'un semblable principe : elle indiquerait par exemple, pour roulis du *Renard*, qui a 0^{m},30 environ de hauteur métacentrique, une amplitude atteignant à peu près le cinquième des roulis d'un ancien brick à voiles.

28. — S'il n'y avait à reprocher aux théories fondées sur l'intégration de l'équation (65), modifiée en vue de rendre l'opération possible, que les erreurs volontairement commises sur l'équation différentielle, on aurait trouvé un certain intérêt à discuter les conclusions sauf à n'accepter les résultats qu'avec les réserves nécessaires. Ces théories ne sont pas seulement inexactes; elles sont de plus à peu près stériles pour l'étude ou simplement l'explication des faits d'observation.

M. de St-Venant calcule l'intégrale de l'équation (65), en tenant compte de la résistance et en remplaçant le terme Ω par une valeur approchée. Il attribue à la poussée résultante sur le navire sa direction véritable, mais sans tenir compte de ses changements d'intensité, parce qu'il n'admet point que le volume de carène immergé doive rester constant. Il attribue à la houle sa forme trochoïdale, sans toutefois considérer le navire comme participant au mouvement oscillatoire horizontal de l'eau, de telle sorte que θ est éliminé à l'aide de l'expression

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{\epsilon^4 h}{g}\left(1 + 8\frac{\epsilon^2 h}{g}\cos \epsilon t\right)\sin \epsilon t,$$

dans laquelle le coefficient de sin εt varie d'une autre manière que dans l'expression (16), mais a son maximum et son minimum pour les mêmes valeurs de εt (1). Enfin il tient compte, par l'introduction d'un facteur μ et la substitution d'un rayon d'orbite r à la demi-hauteur h, de l'influence de la profondeur et de la largeur de la carène sur la direction de la poussée. Dans ces conditions, les résultats obtenus présentent un degré d'approximation très-supérieur à celui des recherches antérieures; cependant on ne retrouve pas dans l'équation (86) de M. de St-Venant, p. 63 de son étude, l'expression des mouvements que l'on a sous les yeux à la mer.

Cette dernière valeur de φ, dont la discussion peut dispenser de celle de toutes les valeurs anciennement obtenues, se compose de deux parties. La première partie représente des oscillations analogues à celles en eau calme, qui ont une durée constante égale à T_n, et qui, pro-

(1) Voici le tableau des variations de ce coefficient de sin εt, que l'on peut comparer aux variations du coefficient S calculées plus haut.

$\frac{h}{L}$	$1 + 8\pi \frac{h}{L}$	$1 - 8\pi \frac{h}{L}$	$\frac{1 + 8\pi \frac{h}{L}}{1 - 8\pi \frac{h}{L}}$
0,05	1,628	0,372	+ 4,376
0,10	2,257	— 0,257	— 8,782
0,15	2,885	— 0,885	— 3,259

On voit que pour les vagues au rapport 0,05, les variations du coefficient de sin εt d'après M. de St-Venant sont sensiblement égales à celles du coefficient exact.

duites par des circonstances initiales indéterminées, vont en diminuant comme en eau calme et doivent bientôt disparaître : ce sont exactement les *roulis libres* de D. Bernoulli. La seconde partie exprime des oscillations, dont la durée est égale à celle des vagues T, ou à des parties aliquotes de cette dernière; le terme le plus important, parce qu'il a pour coefficient la première puissance du rapport de h à L, représente des oscillations synchrônes avec la houle : cette seconde partie correspond aux *roulis forcés* de D. Bernoulli; toutefois sa valeur dépend non-seulement du rapport de T à T_n, élément principal, mais encore d'un coefficient de résistance dans l'eau et dans l'air, k. D'après l'équation, le roulis forcé doit bientôt prédominer, il doit même finir par exister seul, et l'on trouve ainsi une vérification mathématique du principe, posé *a priori* par Bernoulli, du synchronisme naturel des mouvements oscillatoires liés les uns aux autres, sauf quelques correctifs apportés par le troisième terme de φ et par les suivants qui ont été négligés. Dans cette expression du roulis forcé, les termes sont tous égaux à un coefficient constant multiplié par

$$\sin \pi \frac{t}{T}, \text{ ou par } \cos \pi \frac{t}{T},$$

ou par des lignes trigonométriques des multiples de ces arcs : la fin de l'amplitude correspond, pour le mouvement synchrône avec la houle, aux temps t, tels que l'on ait

$$\cos \frac{\pi t}{T} = \pm 1, \text{ c'est-à-dire } t = 0 = \pi = \ldots . n\pi$$

quand le rapport de T à T_n diffère très-peu de l'unité : l'inclinaison maximum est ainsi atteinte sur les sommets et dans les creux. Lorsque le rapport de T à T_n est très-dif-

férent de l'unité, l'inclinaison maximum correspond au contraire à

$$\sin\frac{\pi t}{T} = \pm 1\text{, c'est-à-dire à } t = \frac{T}{2} = \frac{3T}{2} = \ldots\ldots \frac{(2n+1)T}{2},$$

ou à l'instant des passages sur les points d'inflexion. Le roulis s'exécute donc à contre-lame, ou suivant la lame, selon le signe du facteur

$$\left(1 - \frac{T^2}{T_n^2}\right):$$

dans le premier cas l'amplitude dépend surtout du coefficient de résistance k; dans le second, elle dépend surtout du rapport de T à T_n ; on pourrait faire quelques applications numériques donnant sa valeur relative pour l'une et l'autre circonstance.

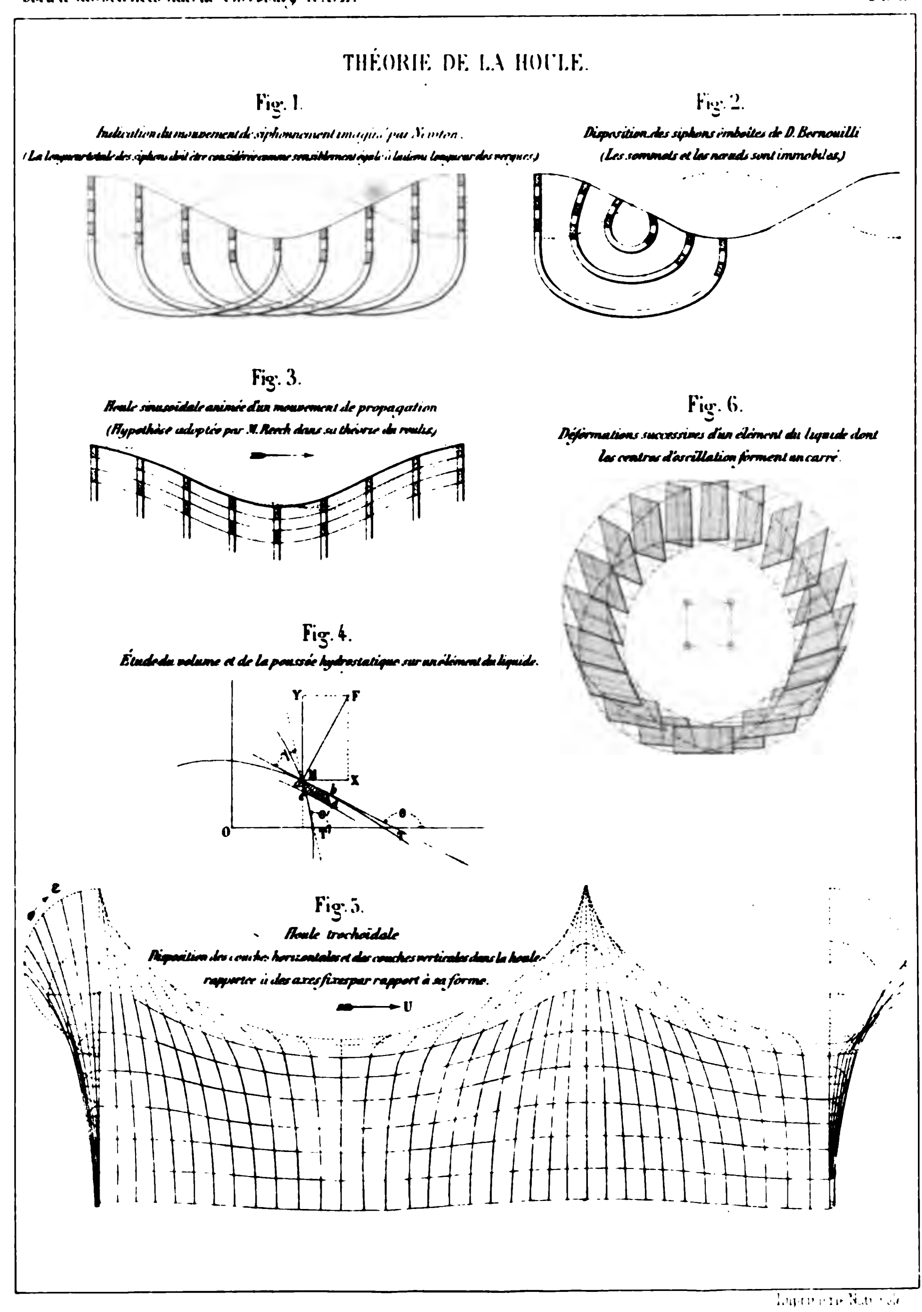
Dans tous les cas, le roulis forcé a une amplitude constante : les angles croissants ou décroissants ne peuvent se présenter qu'au début, quand les conditions initiales se font encore sentir ; elles résultent de la superposition des roulis libres et des roulis forcés.

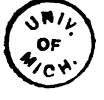
Si maintenant nous passons à l'examen des faits observés, nous trouvons les roulis généralement isochrônes entre eux : il ne serait pas sans exemple, à la vérité, que l'on ait observé à la mer des oscillations ayant une durée différente de celle en eau calme, mais elles sont rares ; je n'en ai pas rencontré pour ma part, dans des mouvements de roulis d'une amplitude importante. En second lieu, les roulis, bien loin de présenter une amplitude constante, se succèdent par séries d'oscillations alternativement croissantes et décroissantes, séparées par des instants où l'amplitude est nulle. Ces deux conditions s'observent, même en naviguant par temps calme, sur une houle offrant toute l'apparence de la plus parfaite régularité.

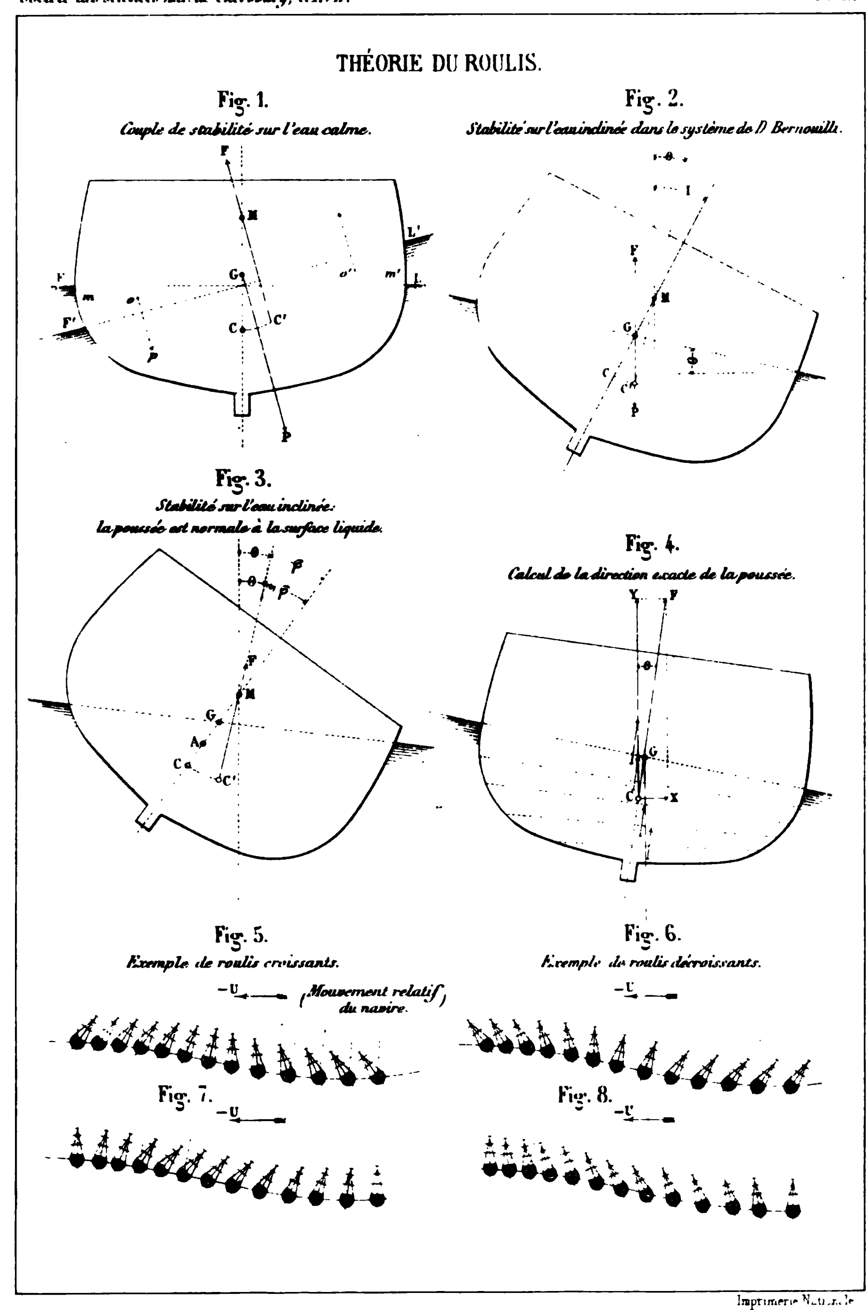
Cette durée des roulis sensibles ou résultants montre que le roulis libre, bien loin d'aller en décroissant jusqu'à s'éteindre définitivement, prédomine au contraire toujours. La manière dont les roulis se succèdent prouve que les conditions initiales qui donnent naissance à l'oscillation propre sont à chaque instant renouvelées. Ces deux effets si importants doivent sans doute s'expliquer par les diverses causes d'irrégularités dont M. de St-Venant donne en terminant la complète énumération : les conditions de l'équation différentielle ne sont pas rigoureusement remplies ; l'inclinaison du navire et la vitesse angulaire au moment où une vague arrive, au lieu d'être exactement celles du roulis que tend à produire cette vague, constituent de simples conditions initiales indéterminées, etc., etc. Il faut ajouter l'inexactitude de l'équation différentielle elle-même, qui a été montrée plus haut.

Une semblable discordance entre les faits et la théorie, si elle doit persister, laissera peu de valeurs aux conclusions qui pourront être déduites de la théorie pure. Il faut dès lors, pour l'étude du roulis, telle que la demandent le constructeur et le marin, recourir à une méthode où l'observation ait la plus grande place. La théorie, ou du moins le raisonnement, restent nécessaires pour faire distinguer parmi les données du navire les paramètres dont le roulis dépend ; l'expérience doit fixer sur la nature de la loi qui lie ces paramètres à la grandeur et à la durée des mouvements, aux dangers qui en résultent, à la fatigue du navire et de ses habitants. Pour cette nouvelle recherche, les principes exposés dans ce chapitre ne sont pas dénués d'intérêt, mais les données les plus utiles seront particulièrement développées dans le chapitre suivant.

Pour être continué au Tome suivant.


THÉORIE DE LA HOULE.
Fig. 1.
Indication du mouvement de siphonnement imaginé par Newton.
(La longueur totale des siphons doit être considérée comme sensiblement égale à la demi longueur des vagues)
Fig. 2.
Disposition des siphons emboîtés de D. Bernouilli
(Les sommets et les nœuds sont immobiles)
Fig. 3.
Houle sinusoïdale animée d'un mouvement de propagation
(Hypothèse adoptée par M. Reech dans sa théorie du roulis)
Fig. 6.
Déformations successives d'un élément du liquide dont les centres d'oscillation forment un carré.
Fig. 4.
Étude du volume et de la poussée hydrostatique sur un élément du liquide.
Y
F
X
M
O
T
θ
Fig. 5.
Houle trochoïdale
Disposition des couches horizontales et des couches verticales dans la houle rapportée à des axes fixes par rapport à sa forme.
U


UNIV.
OF
MICH.



Imprimerie Nationale


UNIV.
OF
MICH.

NOUVELLE

REVUE DES LICHENS

DU JARDIN PUBLIC DE BLOSSAC, A POITIERS

PAR

Mr. le Dr H.-A. WEDDELL, de l'Institut,
Correspondant de la Société des Sciences natur. de Cherbourg.

Un air pur et abondant, beaucoup de lumière, une humidité intermittente, des substratums de natures variées et capables d'une longue résistance à l'action du temps (1) : voilà les conditions les plus favorables au développement d'une flore lichénique.

Dans ma notice sur les « Lichens des promenades publiques », j'ai dit que peu de localités étaient mieux dotées,

(1) Les écorces qui s'exfolient rapidement, comme celles du Platane ou de l'Arbousier, n'offrent que peu ou point de Lichens. Il en est de même des rochers dont la surface se délite facilement sous l'influence des agents atmosphériques.

à ces égards, que le Jardin, ou Parc de Blossac, et je présentai, à l'appui de cette assertion, la liste des espèces que j'y avais observées, dans le courant de l'hiver et du printemps de 1869, en la mettant en regard de celle des espèces rencontrées par M. le docteur W. Nylander, quelques années auparavant, dans le jardin du Luxembourg. Ce parallèle entre les productions lichéniques de la plus favorablement exposée des promenades publiques de Paris et celles de la modeste promenade poitevine, devait faire mieux ressortir la richesse de cette dernière. En insistant, d'un autre côté, sur la pauvreté extrême de la flore lichénique dans les promenades centrales de la grande ville, je mettais encore plus en relief l'influence pernicieuse que la trop grande proximité de centres populeux exerce sur la production de plantes si avides d'un air vivifiant (1). Je puis ajouter ici qu'aucun exemple ne vient mieux à l'appui de ce qui a été avancé à cet égard, que celui des immenses parcs de Londres, sur les beaux arbres desquels on chercherait en vain, je ne dirai pas un lichen quelque peu développé, mais même de maigres traces de ces plantes.

En publiant la liste dont il a été question, je ne me dissimulais pas que j'aurais sans doute à la compléter un jour. Effectivement, bien que j'eûsse exploré notre promenade un assez grand nombre de fois, je savais qu'il s'y trouvait encore plus d'un tronc d'arbre, bien des pierres, bien des fissures de mur ou de rocher, sur lesquels ma loupe ne s'était pas encore arrêtée. Aussi leur examen attentif a-t-il notablement accru le chiffre des espèces déjà cotées

(1) Voir ce que M. le docteur W. Nylander dit à ce sujet dans sa notice sur les « Lichens du Jardin du Luxembourg. » (*Bullet. Soc. Bot. Fr.* ann. 1866).

sur mon catalogue (1) : le nombre de formes diverses de lichens recueillies dans ce seul petit coin de la France se trouvant aujourd'hui porté à bien plus de cent ; résultat assez remarquable pour qu'il m'ait semblé qu'une seconde édition de ma florule serait bien reçue par mes confrères en botanique. Dire qu'elle est maintenant complète, ce serait assurément trop s'avancer, mais, telle qu'elle est, elle servira tout au moins à montrer que l'on peut trouver parfois, bien près de soi, des richesses que quelques-uns sont tentés d'aller chercher fort loin. Il me reste maintenant, avant d'aborder mon énumération, à donner une idée de la configuration générale du jardin de Blossac, et des divers genres de stations qui s'y rencontrent.

La ville de Poitiers est bâtie sur un gros mamelon de calcaire jurassique, dans une sorte de presqu'île qui occupe le confluent du Clain et de la Boivre. Sa promenade est située vers l'isthme de cette presqu'île, sur la partie la plus élevée du plateau. Elle forme un carré long, rétréci à une extrémité ; son grand axe ayant un peu plus de 500 mètres, et son petit 170 en moyenne. L'un des grands côtés, dirigé vers le Sud, et le plus petit, faisant presque face à l'Ouest, sont en terrasse, et surplombent, d'une assez grande élevation, la vallée du Clain. Le mur de soutènement de cette terrasse, couronnée d'un parapet à hauteur d'appui, est formé, en partie, des restes des anciens remparts, et s'élève directement du rocher. Je n'ai pas besoin de dire que ce mur est d'un âge respectable ; aussi, par cette raison, ainsi que par la nature com-

(1) Il est de mon devoir de reconnaître les bons services que m'ont rendus, dans cette nouvelle exploration, les yeux exercés de plusieurs zélés amateurs de Poitiers, parmi lesquels je me plais à nommer MM. Poirault père et fils et M. le docteur Constantin.

pacte de la pierre dont il est construit, et par son admirable exposition, dois-je le signaler comme la station la plus riche de toute la promenade. Quant aux deux autres côtés, comprenant les portes d'entrées et deux faces du Château-d'Eau, ils sont clos de murs ordinaires, et sont non-seulement moins bien exposés que la terrasse, celui du Nord surtout, mais souvent aussi trop ombragés ou trop à proximité des habitations; ils offrent, par conséquent, au lichénophile, une moisson beaucoup moins copieuse et d'un caractère plus urbain.

Les essences dont le parc est orné ne sont qu'en petit nombre. Des arbres plantés par M. de Blossac, vers 1770, il ne reste plus rien; les plus vénérables de ceux qui s'y remarquent aujourd'hui ne remontant guère au-delà des premières années de ce siècle: ce sont surtout quelques Ormes et bon nombre d'Acacias jetés au milieu des massifs. Les Tilleuls, qui forment le gros de la végétation, datent, paraît-il, pour la plupart, de 1837. Ils constituent toutes les grandes allées droites de la promenade. Les autres essences, telles que Marronniers, Erables, etc. sont de plantation récente.

LICHENS

DU JARDIN PUBLIC DE BLOSSAC (1).

I. COLLEMEI.

PYRENOPSIS

— PICTAVA Nyl. in *Flora*, ann. 1869, p. 82; Wedd. *Lich. prom. publ.* in *Bullet. Soc. bot. Fr.* XVI, p. 197. — Sur le mur de la terrasse, au sud, mêlé au *Lecidea aromatica*. — R.R. — N'a pas été retrouvé depuis l'année de sa découverte.

SYNALISSA

— SYMPHOREA Nyl. *Syn.* p. 94. — Commun sur le mur de la terrasse, au sud; rare ailleurs. — Stérile.

COLLEMA

— CHALAZANUM Ach., Nyl. *Syn.* p. 104. — Dans les joints du mur de la terrasse et les fissures des rochers, à son pied. — A.R.

— FURVUM Ach., Nyl. l. c. p. 107. — Murs d'enceinte. — R.

— MELÆNUM Ach., Nyl. l. c. p. 108. — Rochers au pied du mur de la terrasse, et ailleurs. — C.

(1) Il ne m'a pas semblé bien utile de signaler d'une manière spéciale les espèces ou formes dont les noms manquaient à ma première liste, d'autant que plusieurs d'entre elles (le *Physcia aipolia*, par exemple), bien que absentes en apparence, s'y trouvaient cependant comprises en réalité, mais englobées sous une dénomination plus générale.

Je suis heureux d'avoir l'occasion, ici, de renouveler mes remerciments à notre célèbre lichénographe, M. le docteur W. Nylander, qui a bien voulu me continuer, pour ce petit travail, le secours de sa grande expérience.

— — var. *cristatum* (Schær.). — Sur la terre des rochers, au pied de la terrasse. — A.C.

— PLICATILE Ach., Nyl. l. c. p. 109. — Rochers au pied de la terrasse. — A.R.

— PULPOSUM Ach., Nyl. l. c. — Murs d'enceinte, etc. — C.

— — subvar. *granulosum* (Schær.). — Avec le type. — C. — Thalle granuleux-spermogonifère sur toute la face supérieure.

— — subvar. *pulposulum* Nyl. — Avec le type dont il n'est que le diminutif. — A.C.

— — var. *prasinum* Ach., Nyl. l. c. p. 110. — Dans les mêmes lieux que le type. — A.R. — Reconnaissable à sa belle couleur verte.

— CRISPUM Ach., Nyl. l. c. — Rochers et mur de la terrasse. — A.R.

— — ? var. *crispulum*. — Dans les joints du mur de la terrasse, avec le *C. chalazanum* et le *Synalissa*. — A.R. — Thalle peu développé, d'un noir mat, constamment stérile.

— CHEILEUM Ach., Nyl. l. c. p. 111. — Sur les murs et les rochers. — A.C.

— — var. *platyphyllum* Nyl. l. c. — Murs d'enceinte etc. — C.

LEPTOGIUM

— LACERUM Ach., Nyl. l. c. p. 122. — Mêlé à la mousse des rochers, au pied de la terrasse. — A.C. — Souvent fertile.

— — var. *pulvinatum* (Ach.), Nyl. l. c. — Avec le type. — A.C.

— FIRMUM Nyl. *L. Sc.* p. 34. — Murs d'enceinte. — R.

II. CLADONIEI.

CLADONIA

— PYXIDATA Fr., Nyl. *Syn.* p. 192. — Çà et là, sur les rochers, au pied du mur de la terrasse, au sud. — A.R. — Encore plus rare ailleurs. Ordinairement dépourvu de scyphus.

III. RAMALINEI.

Ramalina

— fastigiata Ach., Nyl. *Ramal.* p. 39; *R. calicaris* var. *fastigiata* Auct. plur. — Sur les Tilleuls et les Acacias. — A. R.

IV. PELTIGEREI.

Peltigera

— canina Hoffm., Nyl. *Syn.* p. 88. — Sur la mousse des rochers, au pied de la terrasse. — R. — Thalle peu développé et stérile.

V. PARMELIEI. (1)

Parmelia

— Acetabulum Dub., Nyl. *Syn.* p. 394. — Sur les Tilleuls. — R. — (K ∓ fl. mox rubr.; Ca Cl =)

(1) J'ai indiqué, pour quelques plantes de ce groupe et du suivant, les caractères fournis par l'emploi des réactifs : en particulier de la solution d'hypochlorite de chaux (Ca Cl) et de celle de potasse caustique (K). Quelques botanistes ont vivement critiqué, dans ces derniers temps, l'application de ces moyens diagnostiques à l'étude des Lichens ; s'appuyant surtout sur l'existence d'un certain nombre de résultats douteux. D'autres,'par contre, en ont fait un usage trop large. La vérité est, une expérience de plusieurs années me permet de l'affirmer, qu'il y a, dans la nouvelle méthode, à prendre et à laisser; mais, somme toute, en nous l'enseignant, M. Nylander nous a rendu un très-grand service, puisque il nous a mis à même de distinguer ainsi, avec une extrême facilité, une foule d'espèces confondues jusques là, ou que l'on ne pouvait différencier qu'avec une peine infinie, et, alors, sans que l'esprit restât satisfait du résultat.

Les principaux signes que l'on est convenu d'adopter, pour indiquer les réactions, sont le signe + (plus), signifiant qu'il y a changement *immédiat* de couleur par suite de l'application du réactif, et le signe — (moins), signifiant que l'effet de celui-ci est nul. Les couleurs développées sont (pour ne parler que de

— Borreri Turn., Nyl. l. c. — Sur les Tilleuls et les Acacias. — A. R. — (K =; Ca Cl ∓ erythr.)

Physcia

— parietina DN., Nyl. l. c. p. 410. — Sur les écorces. — C.C.C. — Également çà et là sur les murs. — (K + purp.)

— — subvar. *tumida* Wedd. l. c. — Sur les Tilleuls de la terrasse. — A.R. — (K + purp.)

— — subvar. *virescens* Nyl. l. c. — Sur les troncs ombragés. — C. — (K + pallide purp.)

— — subvar. *sorediosa* Nyl. l. c. — Avec la forme précédente. — C.

— ciliaris DC., Nyl. l. c. p. 414. — Sur les Acacias et les Tilleuls. — A. R. — (K =)

— pulverulenta Fr., Nyl. l. c. p. 419. — Sur les Tilleuls. — R. — Thalle typique, mais stérile. (K =)

— — var. *pityrea* Nyl. l. c. p. 420 (subvar. *grisea*). — Sur les écorces, les pierres, les mousses. etc. — C.C.C. — Il acquiert un développement fort remarquable sur les vieux Acacias et y fructifie même assez fréquem-

celles qui sont visibles dans les espèces de cette liste), 1° avec l'hypochlorite de chaux (Ca Cl), le rose carminé (*erythr.*) et le rouge brique ou ferrugineux (*rubr.*); 2°, avec la potasse (K), le rouge pourpre (*purp.*), le jaune pur (*flav.*) et le jaune plus ou moins verdâtre (*fl. vir.*). Veut-on, maintenant, indiquer que c'est sur la couche superficielle ou épidermique que l'on a opéré, on ne mettra, à la suite des lettres qui symbolisent les réactifs, qu'un seul signe ; ainsi K +, ou Ca Cl —, etc.; et si c'est sur la couche médullaire préalablement dénudée que l'on a expérimenté, on écrira K ∓ ou K =, selon que la réaction sur cette couche est évidente ou ne l'est pas. K ‡ signifie que la réaction a lieu sur la couche épidermique aussi bien que sur la couche médullaire. Les abréviations indiquant la couleur développée peuvent être ajoutées à la suite du signe +; ainsi : K + *purp.*, Ca Cl + *rubr.*, etc. L'indication : K + *fl. mox rubr.* signifie que la couleur développée par le contact de la potasse sur la couche épidermique passe du jaune au rouge.

ment. Cette plante, si caractéristique de la végétation lichénique urbaine du centre et du nord de la France, devient de plus en plus rare vers le midi, où quelques régions en sont pour ainsi dire complétement dépourvues. (K =)

— — — subvar. *dealbata*. — Sur les troncs exposés au soleil et sur les murs. — C.C.C.— Fructifications assez fréquentes, surtout sur les Tilleuls. (K =)

— AIPOLIA Ach.; *Ph. stellaris* Nyl. l. c. pr. p.; *Physcia stellaris* var. *radiata* Wedd. l. c. — Sur les écorces de Tilleul et d'Acacia. (K ‡ *fl. vir.*) — Il y a entre les formes typiques de cette espèce et de la suivante une ressemblance telle qu'il est difficile de les distinguer sans l'aide du réactif. Aussi M. Nylander lui-même n'a-t-il pas hésité à les réunir, jusqu'au moment où il eut appliqué à l'étude des lichens ce moyen de diagnostique.

— STELLARIS Fr., Nyl. l. c. pr. p. (var. *tenella* Nyl. l.c. p. 426). — Sur les Tilleuls et çà et là sur les rochers au pied de la terrasse. — C. — Presque toujours stérile. (K ±)

— ASTROIDEA Fr., Nyl. l. c. p. 425. — Sur les Tilleuls et les Acacias. — A.C. — Rare en fructification. (K ‡).

— OBSCURA Fr., Nyl. l. c. p. 427. — Sur les Tilleuls et les Acacias. — C.C. — Plus rare sur le mur de la terrasse et les rochers à son pied, avec le *Ph. tenella*. (K =).

— — subvar. *sorediosa* Nyl. — Sur les troncs ombragés. — C. — (K =)

— ADGLUTINATA Nyl. l. c. p. 428. — Sur les Acacias. — A C. (K =)

VI. LECANOREI.

PANNARIA

— NIGRA Nyl. l. c. p. 126. — Sur les murs, en particulier sur celui de la terrasse et sur les rochers, à son pied. — C.C.

— — subvar. *psotina* Nyl. l. c. — Avec le type, dont cette forme ne diffère que par ses apothécies de couleur pâle à l'intérieur.

— — ? var. *cæspilitia.* — Thalle fruticuleux, de couleur olivâtre, à ramifications linéaires, comprimées, formant de petites touffes isolées ou réunies en tapis, hautes de 1 à 2 millimètres. — Assez abondant sur un rocher humide, au pied du mur de la terrasse, en face de la brasserie. — Cette plante que je n'ai encore vue qu'à l'état stérile, a tout le faciès de quelque forme du *Leptogium subtile*, auquel je l'avais d'abord rapportée; mais la présence d'un hypothalle noirâtre a fait penser à M. Nylander qu'il conviendrait de la rattacher provisoirement au *Pannaria nigra.*

LECANORA

— MURORUM Ach., Nyl. *L. par.* n. 119; *Placodium murorum* D C. — Sur quelques rognons de silex enchassés dans les pierres du mur et des rochers de la terrasse. — R. Ce lichen ne se trouve que çà et là dans le Poitou, et ne doit pas être confondu avec la variété *plicata* du *L. callopisma.* — (K + purp.).

— — var. *decipiens* (*Placodium decipiens* Arn. in *Flora* ann. 1866, p. 530). — Sur les murs d'enceinte. — A.C. — Se distingue du type, à première vue, par la couleur du thalle qui est plus ou moins teinté de vert, ou même parfois, dans les lieux ombragés, en entier d'un brun-olivâtre. Dans ce dernier cas, la réaction de la potasse sur le thalle peut être tout-à-fait nulle, par suite de l'absence d'acide chrysophanique; mais elle a constamment lieu sur les apothécies.

— CALLOPISMA Ach., Nyl. *L. Luxemb.* in *Bullet. Soc.bot. Fr.* 13. p. 366; *Placodium callopismum,* Mér. — Sur les murs d'enceinte et les rochers au pied de la terrasse à toutes les expositions. — C.C.C.— (K + purp.)

— — var. *plicata* Wedd. l. c. — Avec le type et également commun. — (K + purp.)

— FULGENS Ach.; *Placodium fulgens* D C., Nyl. *L. Sc.* p. 137. — Sur la terre et la mousse, dans les fissures des rochers au pied du mur de la terrasse, au sud. — R. — (K + purp.)

— MEDIANS Nyl. *L. Luxemb.* p. 367; Wedd. l. c.; *Placod.* Nyl. olim. — Sur les murs d'enceinte, surtout sur les les pierres taillées. — C. C. — Son thalle d'un jaune citrin permet de le distinguer au premier coup d'œil du *L. callopisma*, avec lequel il est ordinairement mêlé. On le voit rarement fructifié. (K —)

— CITRINA Ach., Nyl. *L. par.* n. 35; *Placod. citrinum* Flot. — Sur les murs d'enceinte, surtout dans leurs parties humides. — C. C. — Ordinairement stérile. (K + purp.)

— INCRUSTANS Ach. teste Nyl. in litt.; Wedd. l. c. — Rochers au pied de la terrasse, à l'ouest. — R. — Intermédiaire par le faciès entre les *LL. aurantiaca* et *citrina*. Spores bipolaires, long. 8-13, larg. 4-8 micromillimètres (1). — (K + purp.)

— AURANTIACA Nyl. *Prodr.* p. 76 (var. *erythrella* Nyl. l. c.). — Sur les murs et les rochers. — C. — (K + purp.)

— — var. *subochracea.* — Sur les murs un peu ombragés. — A.C. — Thalle indiqué seulement par une tache d'un jaune très-pâle. (K + purp.)

— FERRUGINEA Nyl. l. c. — Sur l'écorce des Tilleuls. — R. (K + purp.)

— PYRACEA Nyl. *L. Luxemb.* l. c.; *Lecidea pyracea* Ach. — Sur les jeunes écorces.— A.C. — (K + purp.)

— — var. *holocarpa* Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 145. — Sur le bois mort de quelques arbres creux. — A.R.

— — var. *ulmicola* (DC.). — Sur l'écorce des vieux ormes. — A.R.

— — var. *pyrithroma* Ach. — Sur les murs et les rochers. — C. — Les apothécies sont souvent entées surle thalle d'autres Lichens.

— CERINA Ach., Nyl. *L. Sc.* p.144. — Sur les écorces.— A.C. (K + purp.)

— PHLOGINA Nyl. *L. par.* n. 121; *Prodr.* p. 78. — Sur les Tilleuls de l'allée de la terrasse. — R. — (K + purp.)

(1) Un micromillimètre (m m.) = un millième de millimètre.

— CANDELARIA Ach., Nyl. *L. Luxemb.* l. c.; Wedd. l. c. — Sur les écorces. — C.C. — Presque toujours stérile. (K —)

— VITELLINA Ach.,Nyl. *L. Sc.* p. 141 (var. *epixantha* Nyl.; *Lecidea epixantha* Ach.). — Sur les murs et les rochers. — C. — (K —). — Dans cette espèce il arrive assez souvent, de même que dans le *L. pyracea pyrithroma*, que les apothécies semblent naître de thalles étrangers, tels que ceux du *Pannaria nigra*, p. e., ou du *Verrucaria macrostoma*.

— RUPESTRIS Nyl. *L. Luxemb.* l. c.; *Lecidea rupestris* Ach. — Sur les murs et les rochers, au pied de la terrasse. — A.C. — Thalle à peine visible. (K + purp.)

— — var. *irrubata* Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 147. — Dans les mêmes lieux que le type dont il se distingue par le plus grand développement du thalle. — C. — (K + purp.)

— TEICHOLYTA Ach., Nyl. *L. Luxemb.* p. 300; *Placodium teicholytum* Nyl. *Prodr.* p. 73. — Sur les murs; en particulier sur le parapet de la terrasse. — C.C.C. — Fructifie très-rarement dans ces localités.

— — subvar. *dialyta* Nyl. in litt. — Çà et là sur les murs et les rochers au pied de la terrasse. — R. — Plante presque réduite aux apothécies.

— CIRCINATA Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 152; *Placodium circinatum* Nyl. *Prodr.* p. 72. — Parapet de la terrasse où il est admirablement développé. — C.C. — Rare ailleurs.

— VARIABILIS Ach.; *Placodium variabile* Nyl. *L. Sc.* p. 138. — Sur le mur de la terrasse et sur les rochers à son pied. — C.

— OCELLULATA; *Urceolaria ocellata* var. *ocellulata* Ach. *L. U.* p. 332. — Sur le mur de la terrasse et sur les rochers à son pied. — R. — Thalle gris-clair, à hypothalle peu visible, crénelé à sa circonférence, finement aréolé. Apothécies nombreuses, superficielles ou en partie innées, larges de 5 à 8 dixièmes de millimètre, à rebord épais et plus ou moins flexueux. Disque noir-ardoisé, peu ou point pruineux. Spores ellipsoïdes, long. 13-18, larg.

8-10 micromillim., simples ou plus souvent uniseptées. — Facile à distinguer de l'espèce précédente, par la couleur de son thalle. Fructifie peu.

— CALCAREA Sommerf., Nyl. *L. Sc.* p. 154; *Urceolaria calcarea* Ach. — Sur tous les murs d'enceinte, ainsi que sur les rochers au pied de la terrasse. — C.C.C.

— — var. *farinosa* Ach. — Avec le type. — A. C. — Aréoles du thalle peu distinctes, à surface farineuse.

— — var. *Hoffmannii* Ach.; Nyl. l. c.; *Urceolaria contorta* Flk. — A.C. — Aréoles du thalle en forme de verrues et assez souvent isolées.

— — var. *mosaica*; *Urceol. calcarea* var. *tessellata* Ach.? *L.U.* p. 337. — Sur le mur de la terrasse, au sud. — R. — Thalle gris-clair, très-compact, à pourtour nettement limité et crénelé, finement et fort elégamment aréolé, chaque aréole se détachant avec facilité des aréoles voisines, et offrant en dessus une dépression anguleuse brune (rudiment de l'hyménium), entourée d'un rebord gris assez étroit.

— PRUINIFERA Nyl. *L. Luxemb.* p. 368, in adnot.; *L. pruinosa* Chaub. (non Sm.); *L. teichotea* var. *pruinifera* Wedd. l. c. — Murs d'enceinte, en particulier sur celui de la terrasse. — C. — (Ca Cl + rubr.)

— — var. *teichotea*; *L. teichotea* Nyl. l. c.; Wedd. l. c. — Avec le type dont il ne diffère que par ses apothécies à disque brun non pruineux. — C. C. — (Ca Cl + rubr.)

— SAXICOLA (Poll.) Nyl. l. c.; *Squamaria saxicola* Nyl. *Prodr.* p. 70. — R. R. — J'ai rencontré un échantillon de cette plante en 1869, sur le parapet de la terrasse, mais ne l'ai point revue depuis. Elle est commune sur les rochers siliceux de nos environs et sur les vieilles tuiles, mais très-rare ailleurs. — (K —, Ca Cl —)

— GALACTINA Ach.; Nyl. l. c. p. 367. — Sur les murs et les rochers. — C. C. C. — (K —, Ca Cl —).

— — var. *dispersa*; *L. dispersa* Nyl. l. c. p. 368. — Çà et là, isolément ou avec le type, dont il se distingue par l'absence de thalle et par ses apothécies souvent

plus ou moins crénelées. — C.C. — Il est quelquefois assez facile de confondre cette plante avec une forme analogue du *L. saxicola*.

— — — subvar. *dissipata*; **L. dissipata* Nyl. l. c. — Avec les précédents. — A.C. — Ne paraît différer de la variété *dispersa* que par la présence d'un hypothalle noirâtre, qui pourrait bien d'ailleurs lui être étranger.

— — var. *urbana*; **L. urbana* Nyl. l. c. — Sur les murs, mais de préférence sur les pierres taillées, un peu à l'ombre. — C. C. — Thalle plus développé que dans le type. (K —)

— SUBFUSCA Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 159 (var. *argentata* Ach.). — Sur les écorces. — C. — C'est la forme que M. Nylander regarde aujourd'hui comme le type de cette espèce polymorphe. Elle se trouve également, mais avec moins de fréquence, sur les murs et les rochers. (K + fl. vir.)

— — var. *allophana* Ach. — Sur les Tilleuls. — A. C. — Paraphyses grêles, non articulées. — J'ai vu, dans quelques apothécies de cette variété ou de la suivante, les spores normales du *L. subfusca* remplacées par des spores, en nombre égal, d'une physionomie entièrement distincte : environ une fois plus grosses, brunes et uniseptées, sans changement apparent dans les autres parties de l'apothécie. M. Nylander, auquel j'ai soumis les pièces, a hésité à se prononcer sur les causes possibles de cette anomalie.

— — var. *parisiensis* (Nyl.); *L. parisiensis* Nyl. *L. Luxemb.* l. c. — Sur les écorces. — C. C. — Apothécies à disque brun ou noir, souvent envahies par le *Sphæria epicymatia* Wallr. — M. Nylander dit, au sujet de cette plante : « Paraphyses crassiusculæ articulatæ mox nostram *L. parisiensem* distinguunt a var. comparandis *L. subfuscæ;* in maxime accedente var. *allophana* Ach. sporæ majores, paraphyses gracilescentes. » — Mes échantillons ont été nommés par M. Nylander, et peuvent en conséquence être considérés comme typiques ; ce caractère des paraphyses

articulées ne s'y présente pas toutefois avec toute la netteté désirable.

— ALBELLA Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 162. — Sur les écorces. — C. (K + fl. vir.)

— — var *angulosa* (Ach.) ; **L. angulosa* Nyl. l. c. p. 161. — Sur les Tilleuls. — A. C.

— — — subvar. *scrupulosa* Ach., Nyl. l. c. p. 162. — Sur les écorces de Tilleul et de Marronnier.— A. R. — Paraphyses articulées comme dans le *L. parisiensis* Nyl. Assez difficile à distinguer à première vue de la variété *angulosa*. La surface du disque des apothécies est saupoudrée, chez les deux plantes, d'une matière pruineuse qui jaunit avec l'hypochlorite de chaux.

— UMBRINA (Ehrh.) Nyl. *L. Sc.* p. 162, pr. p. — Sur les murs, etc. — A. R. — (K —).

— — var. *crenulata* (Dicks.) Nyl. *L. par.* n. 123. — Sur les murs et les rochers. — A. C.

— HAGENI Ach. ; *Lichen cœrulescens* Hag. — Sur les Tilleuls. — A. C.

— ATRA Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 170. — Sur le mur de la terrasse. — C.

— ATHROOCARPA Dub., Nyl. l. c. p. 168. — Sur le mur d'enceinte Est, surtout à l'extérieur.— A. C.— Rare ailleurs.

— ERYSIBE Nyl. l. c. p. 167. — Sur les murs, les rochers, etc. — C. C.

— — var. *albariella* Nyl. — Avec le type. — A. C. — Rebord des apothécies plus marqué.

— SOPHODES Ach., Nyl. l. c. p. 148 (var. *teichophila* Nyl. in *Bull. Soc. bot. Fr.* XIII, p. 367). — Sur le mur de la terrasse. — A.R.

— — var. *pictavica* (*L. sophodes*, var. *confragosa* Wedd. l. c.). — Sur le parapet du mur de la terrasse. — C. — Thalle d'un brun ochracé ou terreux, formant des plaques de 5 à 10 centimètres de largeur, et d'une épaisseur de plus d'un demi-millimètre, se séparant, par la dessication, en aréoles polygones munies chacune de 1 à 3 apothécies innées. Le disque de ces

apothécies est noir, plane ou légèrement convexe, et d'un diamètre de 5 à 8 dixièmes de millimètre; leur rebord thallin est assez épais, mais s'élève souvent à peine au-dessus de la surface de l'aréole. Spores brunes, ellipsoïdes ou un peu oblongues, longues de de 15 à 20 mm. — J'ai soumis cette plante, encore tout récemment, à l'examen de M. le docteur Nylander, qui m'a confirmé sa première détermination. Pour lui c'est le *L. confragosa* Ach. Elle m'a paru cependant assez distincte de ce type silicicole, pour constituer au moins une excellente variété. Il est à remarquer, d'ailleurs, que le thalle du lichen de Blossac est tout-à-fait insensible à l'action de la potasse, tandis que celui du *L. confragosa* jaunit instantanément à son contact. C'est ce qui m'a fait incliner à le rattacher de préférence au type *L. sophodes*, auquel M. Nylander a rapporté aussi, dans le temps, le *L. confragosa* lui-même.

— CERVINA ? (Pers.) Ach., Nyl. l. c. p. 174. — Sur les rochers au pied du mur de la terrasse, ainsi que çà et là sur le mur d'enceinte Est. — R. — Détermination douteuse en l'absence de fructifications.

— CASTANEA Ram., Schær. *Enum.* p. 55 (var. *percænoides*; *L. percænoides* Nyl. in Wedd. l. c.). — Mur de la terrasse, au sud. — R. — Ordinairement stérile. Diffère peu de la variété *mosaica* du même type.

— PRUINOSA (Sm.) Nyl. *Alger.* p. 332; *L. Sc.* p. 176, non Chaub. — Sur les murs et les rochers au pied de la terrasse — C.

URCEOLARIA.

— ACTINOSTOMA Pers., Nyl. *Prodr.* p. 96. — Mur d'enceinte Est, sur les rognons de silex enchâssés dans le calcaire. — R.

VII. THELOTREMEI.

PHLYCTIS

— AGELÆA Wallr., Nyl. *L. Sc.* p. 184. — Sur les Tilleuls et les Acacias. — A.C.

VIII. LECIDEEI.

Lecidea

— sabuletorum Flk., Nyl. *L. Sc.* p. 204.— Sur la mousse des murs d'enceinte, des arbres, etc. — A.C. — Apothécies fauves ou brunes.

— canescens Ach., Nyl. *Prodr.* p. 119. — Mur de la terrasse, au pied du grand bastion, à l'ombre. — A.C. — Ne se retrouve guère ailleurs à Blossac. Stérile.

— vesicularis Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 214. — Joints du mur de la terrasse et terre des rochers, à son pied. — A.C.

— aromatica Ach., Nyl. *Prodr.* p. 123. — Mur de la terrasse, surtout sur le vieux mortier. — C.C.

— parasema Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 216. — Sur les écorces. — C.C.C.

— — var. *elæochroma* Ach., Nyl. l. c. — Sur les écorces. — C.C.

— — var. *enteroleuca* Ach., Nyl. l. c. — Sur le parapet de la terrasse. — A.R. — Plus rare ailleurs.

— episema Nyl. *Prodr.* p. 125.— Mur de la terrasse, où il est parasite sur le thalle du *Lecanora calcarea*, — A.R.

— ochracea Hepp, *Fl. Eur.* n. 233. — Murs d'enceinte et rochers au pied de la terrasse, en particulier sur les rognons de silex. — A.R. — Thalle aréolé, de couleur ochracée sale. Apothécies convexes, noires intérieurement. Spores ellipsoides longues de 8 à 12 mm.

— fuscorubens Nyl. *L. Sc.* p. 199. — Rochers, au pied du mur de la terrasse. — R.

— calcivora Nyl. *Prodr.* p. 135. — Sur les murs d'enceinte et les rochers, au pied de la terrasse. — A.R.

— lenticularis Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 242. — Sur le mur d'enceinte Est. — R.

– alboatra Schær., Nyl. l. c. p. 235 (var. *epipolia* Ach.; Nyl.). — Sur les murs d'enceinte, le parapet de la terrasse, etc. — C.C. — Apothécies pruineuses ou nues. (1)

(1) Par ses spermogonies, dit M. Nylander (*Flora*, ann. 1873, p. 198), ce lichen est un *Lecanora* et non un *Lecidea*.

— PETRÆA Flot., Nyl. l. c. p. 233. — (var. *excentrica* Nyl.). — Sur les rognons de silex enchâssés dans le calcaire. — R.

— SAXATILIS (Schær.) Nyl. l. c. p. 237. — *L. micraspis* Nyl. *Prodr*.p.140.— Mur d'enceinte Est : sur de vieux thalles de *Lecanora calcarea*? — R. — Cette plante se rencontre à l'état parasite sur les thalles d'un grand nombre de lichens. Les spores de mes échantillons de Blossac sont un peu plus petites (6-9 mm.) que dans le type de Schærer.

IX. GRAPHIDEI.

GRAPHIS

— SCRIPTA Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 251. — Sur les jeunes écorces. — A.R.

OPEGRAPHA

— ATRA Nyl. l. c. p. 254 (var. *hapalea* Nyl.).— Sur les Tilleuls et les Marronniers. — C.

— VARIA Pers., Nyl. l. c. p. 252 (var. *notha* Ach., Nyl. l. c. p. 253).— Sur les Acacias.— R.

— — var. *pulicaris* Nyl. l. c. — Sur les Acacias. — A.C.

— — var. *diaphora* Ach., Nyl. l. c. (subvar. *signata* Ach.).— Sur les Marronniers. — R.

ARTHONIA

— ASTROIDEA Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 259. — Sur les jeunes écorces. — C.

— — var. *Swartziana* (Ach.) Nyl. l. c. — Sur l'écorce des jeunes Marronniers.— A.R.

— SUBVARIANS Nyl. in *Flora*, ann. 1868, p. 345.— Parasite çà et là sur les apothécies du *Lecanora galactina*. — C. — Distinct de l'*A. varians* (Dav.) Nyl. *L. Sc.* p. 260, dont il a le faciès, par ses spores constamment uniseptées. L'espèce citée, ordinairement parasite du *Lecan. glaucoma*, a les spores normalement triseptées.

— LAPIDICOLA (Tayl.) Leight. *L. Fl.* p. 393 (var. *peregrina*).— Mur d'enceinte Est. — R.— Apothécies naissant tantôt de la pierre calcaire elle-même, et tantôt d'un thalle blanc, emprunté peut-être à un autre lichen.

MELASPILEA

— ARTHONIOIDES Nyl. *Prodr.* p. 170. — *Lecidea arthonioides* Fée.— Sur les Ormes et les Tilleuls. — A.R.

X. PYRENOCARPEI.

ENDOCARPON

— RUFESCENS Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 265. — Au pied du mur de la terrasse, surtout dans les joints. — A.R. — Bien caractérisé sur le rocher humide, en face de la brasserie.

— HEPATICUM Ach., Nyl. l. c. — Dans les joints du mur de la terrasse, etc. — A. C.

VERRUCARIA

— GAROVAGLII Mont., Nyl. *L. Sc.* p. 268. — Dans les joints du mur de la terrasse. — C. — Rare ailleurs.

— POLYSTICTA Borr. E. B. suppl. t. 2741; *V. fuscella* Schær. — Murs d'enceinte. — A. R.

— NIGRESCENS Pers., Nyl. l. c. p. 271. — Sur les murs, etc. C. C. C.

— — var. *viridula* Ach.; **V. viridula* Nyl. l. c. — Çà et là avec le type. — A. C.

— MACROSTOMA Duf., Nyl. *Prodr.* p. 181. — Sur les murs d'enceinte, en particulier sur celui de la terrasse. — C.

— RUPESTRIS Schrad., Nyl. *L. Sc.* p. 275. — Sur les murs d'enceinte, les rochers, etc. — A. C. — Perithèce de couleur pâle dans toute la partie immergée de l'apothécie.

— — var. *ruderum* (D C.); **V. ruderum* Nyl. l. c. p. 276. — Sur le vieux mortier des murs d'enceinte. — C. — Apothécies presque entièment immergées.

— — var. *muralis* (Ach.); **V. muralis* Nyl. l. c. p. 275. — Avec le type. — A.C. — Acharius distingue son *V. muralis* du *V. Schraderi*, ou *V. rupestris* Schrad., par ses apothécies noires intérieurement, et ajoûte que ces organes laissent sur leur matrice, en tombant, des fossettes de même couleur, ce qui semblerait indiquer, chez cette plante, l'existence d'un perithèce entièrement noir, comme dans la variété suivante.

— — var. *integra* Nyl. l. c. p. 276. — Avec les précédents. — C. — Apothécies plus ou moins incrustées dans la pierre.

— — var. *calciseda* (D C.), Nyl. *Prodr.* p. 183. — Çà et là, sur les pierres très-compactes et lisses des murs d'enceinte, etc. — A. R.

— — var. *hiascens* Ach., Nyl. l. c. — Sur les rochers, au pied de la terrasse, etc. — C. — Apothécies assez profondément enchassées dans leur matrice calcaire; l'ouverture des fossettes s'entourant quelquefois d'un bourrelet pierreux plus ou moins saillant. Perithèce entièrement noir ou pâlissant inférieurement.

— SEPULTA Mass., sub *Polyblastia*, in *Lotos*, ann. 1856, p. 81. — Sur les rochers, au pied de la terrasse. — A. C. — Ce curieux lichen, que je ne vois encore signalé dans aucune flore française, n'est pas rare dans le Poitou. Il est même assez caractéristique des calcaires compacts de cette région ; mais il y passe facilement inaperçu, même quand il est en pleine fructification ; sa présence ne se décélant que par la tache grise que le thalle communique à la surface unie du rocher.

— GEMMATA Ach., Nyl. l. c. p. 280 (var. *ecrustacea*). — Sur le vieux mortier du mur d'enceinte Est. — R. — Aucun thalle apparent.

— EPIDERMIDIS Ach., Nyl. l. c. — Sur les jeunes écorces. — A. C.

— — subvar. *punctiformis* Nyl. l. c. — Sur les jeunes Marronniers, etc. — A. C.

— CINERELLA Flot., Nyl. l. c. p. 281 (var. *megaspora* Nyl.). — Sur les Tilleuls de la grande allée. — R. — Spores brunes, uniseptées, en forme de 8, long. 14-25 mm., larg. 7-12.

— EPICALLOPISMA (sp. nov.). — Sur les murs d'enceinte. — R. — Thalle propre nul. Apothécies entées sur le thalle du *Lecanora* (*Placod.*) *callopisma*, petites (diam. 0,25 à 0,35 de millim.), éparses, à demi ou aux trois quarts immergées ; perithèce entier, d'un noir mat, la partie saillante convexe ou hémisphérique, à ostiole rond et béant. Para-

physes nulles. Spores (8? par thèque) oblongues ou ovoïdes-oblongues (long. 24-36, larg. 8-12 mm.), brunes, ordinairement 3-septées. Hymenium ne bleuissant pas par l'iode.

XI. PERIDIEI.

MYCOPORUM

— PTELÆODES Nyl. *L. Sc.* p. 291. — Sur les jeunes écorces. — R.



OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

de Juillet 1872 à Juin 1873.

---

§ 1er. — *Ouvrages donnés par le Gouvernement.*

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Sociétés savantes des départements, 5e sér. 8o. T. I (no 6) 1870 ; II (no 1) 1870 ; III (nos 3 à 6) 1872 ; IV (nos 1 à 4) 1872. — 2e sér. : Sciences mathématiques, physiques et naturelles. 8o. T. I, 1867 ; II, 1867 ; IV, 1869. — Répertoire archéologique du Département de la Seine-Inférieure. 4o Paris 1872. — Dictionnaire topographique du Département du Haut-Rhin. 4o Paris 1868. — Comité des travaux historiques et des Sociétés savantes. — Liste des Membres titulaires, honoraires et non résidants du Comité, des correspondants et des correspondants honoraires du Ministère de l'Instruction publique pour les travaux historiques. Instructions. Liste des Sociétés savantes des Départements. 8o Paris 1873.

§ 2e. — *Publications des Sociétés correspondantes.*

France.

Agen. *Société d'agriculture, sciences et arts.* — Recueil des travaux de la Société d'agriculture, sciences et arts d'Agen, 2e série, T. III. 8o Agen 1873.

Alger. *Société algérienne de climatologie.* — Bulletin de la Société algérienne de climatologie, sciences physiques et naturelles, IXe année (nos 4 à 6) ; Xe année (nos 1 à 3). 8o Alger 1872-1873.

Amiens. *Société Linnéenne.* — Mémoires de la Société Linnéenne du Nord de la France, Années 1868 et 1869. 8o. — Bulletin mensuel (nos 1 à 12). 8o Amiens 1872-73.

ANGERS. *Société académique.* — Mémoires de la Société académique de Maine-et-Loire, T. XXV et XXVI. 8° Angers 1871.

ANGERS. *Société industrielle.* — Bulletin de la Société industrielle d'Angers et du Département de Maine-et-Loire, T. XXXVI, 1865; XXXVII, 1866; XL (2e semestre) 1869; XLI (1er semestre) 1870; XLIII (1er semestre) 1872. 8° Angers.

ANGERS. *Société d'études scientifiques.* — Bulletin de la Société d'études scientifiques d'Angers, 1re année 1871; 2e année 1872. 8° Angers.

AUXERRE. *Société des sciences historiques et naturelles.* — Bulletin de la Société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne, T. II, 1848; XXVI, 1872. 8° Auxerre.

BESANÇON. *Académie des sciences, belles-lettres et arts.* — Séance publique du 24 août 1872. — Séance publique du 30 janvier 1873. 8° Besançon.

BESANÇON. *Société d'Émulation.* — Mémoires de la Société d'Émulation du Doubs, 4e série, T. VI. 8° Besançon 1870-1871.

BORDEAUX. *Académie des sciences, belles-lettres et arts.* — Actes de l'Académie nationale des sciences, belles-lettres et arts de Bordeaux, XXXIIIe année. 8° Bordeaux 1871-1872.

BORDEAUX. *Société des sciences physiques et naturelles.* — Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux, T. VIII (n° 3); IX (n° 1). 8° Bordeaux 1872-1873. — Extrait des procès-verbaux des séances; année 1872-73 (1re feuille). 8°.

BREST. *Société académique.* — Bulletin de la Société académique de Brest, année 1871 (2e livraison). 8° Brest 1871.

CAEN. *Académie des sciences, arts et belles-lettres.* — Mémoires de l'Académie nationale des sciences, arts et belles-lettres de Caen. 8° Caen 1873.

CANNES. *Société des sciences naturelles et historiques, etc.* — Mémoires de la Société des sciences naturelles et historiques, des lettres et des beaux-arts de Cannes et de l'Arrondissement de Grasse, T. III (nos 1 et 2). 8° Cannes 1873.

CHALONS. *Société d'agriculture, etc.* — Mémoires de la Société d'agriculture, commerce, sciences et arts du Département de la Marne; Années 1859, 1860, 1861, 1863, 1865, 1866, 1867, 1870-71, 1872. 8° Châlons-sur-Marne.

plus ou moins crénelées. — C.C. — Il est quelquefois assez facile de confondre cette plante avec une forme analogue du *L. saxicola.*

— — — subvar. *dissipata*; **L. dissipata* Nyl. l. c. — Avec les précédents. — A.C. — Ne paraît différer de la variété *dispersa* que par la présence d'un hypothalle noirâtre, qui pourrait bien d'ailleurs lui être étranger.

— — var. *urbana*; **L. urbana* Nyl. l. c. — Sur les murs, mais de préférence sur les pierres taillées, un peu à l'ombre. — C. C. — Thalle plus développé que dans le type. (K —)

— SUBFUSCA Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 159 (var. *argentata* Ach.). — Sur les écorces. — C. — C'est la forme que M. Nylander regarde aujourd'hui comme le type de cette espèce polymorphe. Elle se trouve également, mais avec moins de fréquence, sur les murs et les rochers. (K + fl. vir.)

— — var. *allophana* Ach. — Sur les Tilleuls. — A. C. — Paraphyses grêles, non articulées. — J'ai vu, dans quelques apothécies de cette variété ou de la suivante, les spores normales du *L. subfusca* remplacées par des spores, en nombre égal, d'une physionomie entièrement distincte : environ une fois plus grosses, brunes et uniseptées, sans changement apparent dans les autres parties de l'apothécie. M. Nylander, auquel j'ai soumis les pièces, a hésité à se prononcer sur les causes possibles de cette anomalie.

— — var. *parisiensis* (Nyl.); *L. parisiensis* Nyl. *L. Luxemb.* l. c. — Sur les écorces. — C. C. — Apothécies à disque brun ou noir, souvent envahies par le *Sphæria epicymatia* Wallr. — M. Nylander dit, au sujet de cette plante : « Paraphyses crassiusculæ articulatæ mox nostram *L. parisiensem* distinguunt a var. comparandis *L. subfuscæ;* in maxime accedente var. *allophana* Ach. sporæ majores, paraphyses gracilescentes. » — Mes échantillons ont été nommés par M. Nylander, et peuvent en conséquence être considérés comme typiques ; ce caractère des paraphyses

articulées ne s'y présente pas toutefois avec toute la netteté désirable.

— ALBELLA Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 162. — Sur les écorces. — C. (K + fl. vir.)

— — var *angulosa* (Ach.) ; **L. angulosa* Nyl. l. c. p. 161. — Sur les Tilleuls. — A. C.

— — — subvar. *scrupulosa* Ach., Nyl. l. c. p. 162. — Sur les écorces de Tilleul et de Marronnier. — A. R. — Paraphyses articulées comme dans le *L. parisiensis* Nyl. Assez difficile à distinguer à première vue de la variété *angulosa*. La surface du disque des apothécies est saupoudrée, chez les deux plantes, d'une matière pruineuse qui jaunit avec l'hypochlorite de chaux.

— UMBRINA (Ehrh.) Nyl. *L. Sc.* p. 162, pr. p. — Sur les murs, etc. — A. R. — (K —).

— — var. *crenulata* (Dicks.) Nyl. *L. par.* n. 123. — Sur les murs et les rochers. — A. C.

— HAGENI Ach. ; *Lichen cœrulescens* Hag. — Sur les Tilleuls. — A. C.

— ATRA Ach., Nyl. *L. Sc.* p. 170. — Sur le mur de la terrasse. — C.

— ATHROOCARPA Dub., Nyl. l. c. p. 168. — Sur le mur d'enceinte Est, surtout à l'extérieur. — A. C. — Rare ailleurs.

— ERYSIBE Nyl. l. c. p. 167. — Sur les murs, les rochers, etc. — C. C.

— — var. *albariella* Nyl. — Avec le type. — A. C. — Rebord des apothécies plus marqué.

— SOPHODES Ach., Nyl. l. c. p. 148 (var. *teichophila* Nyl. in *Bull. Soc. bot. Fr.* XIII, p. 367). — Sur le mur de la terrasse. — A.R.

— — var. *pictavica* (*L. sophodes*, var. *confragosa* Wedd. l. c.). — Sur le parapet du mur de la terrasse. — C. — Thalle d'un brun ochracé ou terreux, formant des plaques de 5 à 10 centimètres de largeur, et d'une épaisseur de plus d'un demi-millimètre, se séparant, par la dessication, en aréoles polygones munies chacune de 1 à 3 apothécies innées. Le disque de ces

PARIS. *Association scientifique de France.* — Bulletin hebdomadaire, nos 123, 141, 235, 244 à 248, 250 à 257, 259 à 295. 8° Paris 1872-1873.

PARIS. — *Revue scientifique de la France et de l'Etranger*, 2e série, T. III et IV. 4° Paris 1872-1873.

PARIS. — *Revue politique et littéraire*, 2e série, T. III et IV. 4° Paris 1872-1873.

PRIVAS. *Société des sciences naturelles et historiques.* — Bulletin de la Société des sciences naturelles et historiques de l'Ardèche, n° VI. 8° Privas 1872.

ROUEN *Académie des sciences, belles-lettres et arts.* — Précis analytique des travaux de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Rouen, pendant l'année 1870-71. 8° Rouen 1871.

ROUEN. *Société des amis des sciences naturelles.* — VIe et VIIe années, 1870-1871; VIIIe année (1er semestre) 1872. 8° Rouen.

SAINT-QUENTIN. *Société académique des sciences, arts, belles-lettres, agriculture et industrie de Saint-Quentin.* — Mémoires, 3e série, T. X. 8° St-Quentin 1870-72.

STRASBOURG. *Société d'histoire naturelle.* — Mémoires de la Société d'histoire naturelle de Strasbourg, T. II (liv. 1 à 3) 1835-1838; III (livr. 1 à 3) 1840-1843; IV (1re livr.) 1850. 4° Strasbourg. — Bulletin, 3e année 1870-71. 8°.

TOULOUSE. *Académie des sciences, inscriptions et belles-lettres.* — Histoire et mémoires de l'Académie royale des sciences, inscriptions et belles-lettres de Toulouse, T. I, 1782; IV, 1790. 4° Toulouse. — 2e série, T. I à VI, 1827-1843; 3e série, T. I à VI, 1845-1850; 7e série, T. IV, 1872. 8° Toulouse.

TOURS. *Société médicale.* — Recueil des travaux de la Société médicale du Département d'Indre-et-Loire, 70e année (2e semestre). 8° Tours 1872.

TROYES. *Société académique.* — Mémoires de la Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du Département de l'Aube, 3e série, T. VII et VIII. 8° Troyes 1870-1871.

Grande-Bretagne.

EDIMBOURG. *Société Royale.* — Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Sessions 1858-59, 1859-60, 1860-61, 1865-66, 1868-69, 1870-71, 1871-72. 8° Edimbourg.

EDIMBOURG. *Société botanique.* — Transactions and proceedings of the botanical Society of Edinburgh, T. VIII (nº 3) 1866; X (nº 1) 1869; XI (nºs 1 et 2) 1871-1873. 8º Edimbourg.

LIVERPOOL. *Société littéraire et scientifique.* — Proceedings of the literary and philosophical Society of Liverpool, T. II à IV, VI à XIV, XIX, XX, XXV, XXVI and Index to vol. I to XXV. 8º Liverpool 1845-1872.

LONDRES. *Société Royale.* — Proceedings of the Royal Society of London, T. XVIII (nºs 119 à 122) 1870; XIX (nºs 123 à 129) 1870-71; XX (nºs 130 à 138) 1871-72; XXI (nºs 139 à 141) 1872-73. 8º Londres. — Correspondence concerning the great Melbourne telescope, in three parts, 1852-1870. 8º Londres 1871.

LONDRES. *Société Royale astronomique.* — Monthly notices of the Royal Astronomical Society, T. XXXII (nºs 8 et 9) 1872; XXXIII (nºs 1 à 7) 1872-1873. 8º Londres.

LONDRES. *Société Linnéenne.* — The Journal of the Linnean Society: Botany, T. XI (nºs 52 à 56) 1869-71; XIII (nºs 65 à 67) 1871-72; — Zoology, T. X (nºs 47 et 48) 1870; XI (nºs 49 à 54) 1870-71. — Proceedings of the Linnean Society, Sessions 1866-67, 1867-68 (fºs *i* et *k*), 1869-70, 1870-71, 1871-72. — Additions to the library, Sessions 1866-67, 1867-68, 1868-69, 1869-70, 1870-71. — List of the Linnean Society, 1853, 1869, 1870. — Address of the President, etc. 1860, 1861, 1865 à 1868, 1870, 1871. 8º Londres.

MANCHESTER. *Société littéraire et scientifique.* — Memoirs of the literary and philosophical Society of Manchester, 3ᵉ série, T. I, 1862. — Proceedings, T. II, 1860-62. — Rules, 1861. 8º Manchester.

Belgique.

BRUXELLES. *Académie Royale de Bruxelles.* — Bulletin de l'Académie Royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique, 2ᵉ série, T. XXXI à XXXIV. 8º Bruxelles 1871-1872. — Annuaire de l'Académie, 38ᵉ et 39ᵉ années, 1872-1873. — Centième anniversaire de fondation (1772-1872), T. I et II. 8º Bruxelles 1872.

BRUXELLES. *Observatoire.* — Annales météorologiques de l'Observatoire Royal de Bruxelles, Vᵉ année. 4º Bruxelles 1871.

BRUXELLES. *Société Royale de Botanique.* — Bulletin de la Société Royale de botanique de Belgique, T. V (n° 1) 1866; VI (n° 1) 1867; X (nos 1 à 3) 1871-72; XI (nos 1 à 3) 1872-73. 8° Bruxelles.

BRUXELLES. *Société entomologique.* — Annales de la Société entomologique de Belgique, T. XV. 8° Bruxelles 1871-72.

LIÈGE. *Société Royale des sciences.* — Mémoires de la Société Royale des sciences de Liège, 2e série, T. III. 8° Liége 1873.

Pays-Bas.

GRONINGUE. *Société des sciences naturelles.* — Een en zeventigste Verslag over het Natuurkundig Genootschap te Groningen. 8° Groningue 1871.

HARLEM. *Société hollandaise des sciences.* — Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles, T. VI (nos 4 et 5) 1871; VII (nos 1 à 5) 1872. 8° La Haye.

HARLEM. *Société pour l'encouragement de l'Industrie.* — Tijdschrift uitgegeven door de Nederlandsche Maatschappij ter bevordering van Nijverheid te Haarlem, T. XXXIV (nos 5 à 12) 1871; XXXV (nos 1 à 8) 1872. — Handelingen en mededeelingen, 1re livr. 1873. — Handelingen der vier en negentigste algemeene Vergadering en van het viftiende Nijverheids Congres gehouden te Haarlem op den 11, 12 en 13den julij 1871. — Verslag wegens de Werkzaamheden der Nederlandsche Maatschappij ter Bevordering van Nijverheid gedurende het jaar 1871, aan Z. M. den Koning Beschermheer uitgebracht door Directeuren van genoemde Maatschappij. 8° Harlem 1872.

NYMÈGUE. *Société botanique des Pays-Bas.* — Verslag van de 16de algemeene Vergadering van de Vereeniging voor de Flora van Nederland en zijne overzeesche bezittingen. 8° 1861. — Verslag van de vijf en twintigste Jaarvergadering van de Nederlandsche botanische Vereeniging. 8° 1871. — Nederlandsch Kruidkundig Archief, T. V (nos 3 et 4). 8° Leeuwarden 1863-1870. — 2e série: Verslagen en mededeelingen der Nederlandsche botanische Vereeniging, T. I (livr. 1 et 2). 8° Nymègue 1871-1872.

UTRECHT. *Société des arts et des sciences.* — Verhandelingen van het provinciaal Utrechtsch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen, T. I à X. 8° Utrecht 1781-1821. — Nieuwe

Verhandelingen, T. I à XII. 8° 1822-1840. — Natuurkundige Verhandelingen (nouvelle série), T. I (livr. 1 et 2). 4° Utrecht 1870. — Programma van het provinciaal Utrechstch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen, années 1842 à 1846. 8°. — Verslag van het verhandelde in de algemeene Vergaderingen, etc. Années 1847 à 1855, 1870 à 1872. 8°. — Aanteekeningen van het verhandelde in de Sectie-vergaderingen, années 1870 à 1872. 8°. — De spectatoriale Geschriften von 1741-1800. 8° Utrecht 1872.

UTRECHT. *Institut Royal météorologique des Pays-Bas.* — Meteorologische waarnemingen in Nederland, années 1849 à 1857. 4° Utrecht. — Nederlandsch meteorologisch Jaarboek, 20e année 1868 (2e livr.) 1872; 21e année 1869 (livr. 1 et 2) 1869-70; 22e année 1870 (1re livr.) 1870; 23e année 1871 (1re livr.) 1871. 4° Utrecht.

Danemark.

COPENHAGUE. *Société botanique.* — Botanisk Tidskrift, udgivet af den Botaniska Forening i Kjöbenhavn, 2e série, T. I (livr. 3 et 4) 1871; II (livr. 1 et 2) 1872. 8° Copenhague.

Suède et Norvège.

CHRISTIANIA. *Université Royale.* — Det Kongelige Norske Frederiks Universitets Aarsberetning for aaret 1871. 8° 1872. — Cantate ved det Kongelige Norske Frederiks Universitets Mindefest for Hans Majestæt Kong Carl den 19de November 1872. 4° Christiania 1872.

CHRISTIANIA. *Société des sciences.* — Forhandlinger i Videnskabs-Selskabet i Christiania, Aar 1871. 8° Christiania 1872.

CHRISTIANIA. *Société physiographique.* — Nyt Magazin for Naturvidenskaberne, T. XIX (livr. 1 et 2). 8° Christiania 1872.

CHRISTIANIA. *Institut météorologique.* — Norsk meteorologisk Aarbog for 1871. 4° Christiania 1872.

DRONTHEIM. *Société Royale des sciences de Norvège.* — Det Kongelige Norske Videnskabers-Selskabs Skrifter i det 19de Aarhundrede, T. VI, 1870; VII (1re livr.) 1872. 8° Trondhjem.

GOTHEMBOURG. *Société des sciences.* — Göteborgs K. Vetenskaps och Vitterhets Samhälles Handlingar, (nouvelle série), T. XI. 8° Gothembourg 1872.

STOCKHOLM. *Académie Royale des sciences.* — Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, nouvelle série, T. VII (2e partie) 1868 ; VIII, 1869 ; IX (1re partie) 1870. 4° Stockhohn. — Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar, T. XXVI, 1869 ; XXVII, 1870. 8°. — Lefnadstekningar öfver Konglika Svenska Vetenskaps-Akademiens efter år 1854 aflidna Ledamöter, T. I (2e livr.). 8° Stockholm 1870.

UPSAL. — *Société Royale des sciences.* — Nova acta regiæ Societatis scientiarum Upsaliensis, 3e sér., T. VII (fasc. 1 et 2) 1869-1870 ; VIII (fasc. 1) 1871. 4° Upsal.

UPSAL. — *Observatoire.* — Bulletin météorologique mensuel de l'Observatoire de l'Université d'Upsal, T. I, II et III. 4° Upsal 1869-1871.

Russie.

HELSINGFORS. *Société finlandaise des sciences.* — Acta Societatis scientiarum Fennicæ, T. IX. 4° Helsingfors 1871. — Öfversigt of Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar, T. XII, 1869-70 ; XIII, 1870-71. 8° — Bidrag till Kännedom af Finlands Natur och Folk. (livr. 15 à 17) 1870-1871. 8°. — Bidrag till Finlands officiela Statistik. V. Temperatur förhållanden i Finland åren 1846-1855. (1re livr.). 4° Helsingfors 1869.

HELSINGFORS. *Société pour la Faune et la Flore de la Finlande.* — Notiser ur Sällskapets pro Fauna et Flora fennica Förhandlingar, T. XII, 1871. 8°. — Sällskapets pro Fauna et Flora fennica inrättning och verksamlet ifrån dess Stiftelse den 1 november 1821 till den 1 november 1871. 8° Helsingfors 1871.

MOSCOU. *Société Impériale des Naturalistes.* — Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou, année 1870 (nos 3 et 4) ; année 1871 (nos 1 à 4). 8° Moscou.

ODESSA. *Société des naturalistes de la Nouvelle-Russie.* — Zapiski Novorossiiskago Obstchestva Estestvoispitatelei, T. I (nos 1 à 4). 8° Odessa 1872-1873. — Prilojenie k pervomou tomou (I et II). 8° Odessa 1872.

RIGA. *Société des naturalistes.* — Correspondenzblatt des Naturforschenden Vereins zu Riga, années I à IX, XII à XV, XVII à XIX. 8° Riga 1847-1872. — Arbeiten des Natursforscher-Vereins zu Riga, nouvelle série, 3e livr. 8° 1870. —

Denkschrift des Naturforscher-Vereins zu Riga, herausgegeben in Anlass der Feier seines 25jährigem Bestehens am 27 März 1870. 4°. — Festschrift des Naturforschervereins zu Riga zur Feier des fünfzigjährigen Bestehens der Gesellschaft practischer Ärzte zu Riga am 15 September 1872. 4° Riga 1872.

St-Pétersbourg. *Académie Impériale des sciences.* — Mémoires de l'Académie Impériale des sciences de St-Pétersbourg, 7e série, T. XVI (nos 9 à 14) 1870-71; XVII (nos 1 à 12) 1871; XVIII (nos 1 à 10) 1872; XIX (nos 1 à 5) 1872-73. 4°. — 6e série : Sciences naturelles, T. VII, 1855; VIII, 1859. 4°. — Mémoires des Savants étrangers, T. I à IX, 1830-1859. 4°. — Recueil des Mémoires des Astronomes de l'Observatoire central de Russie, T. I, 1853; II, 1859. 4°. — Bulletin scientifique, T. I à X, 1836-1842. 4°. — Bulletin de l'Académie, T. XVI (nos 2 à 6) 1871; XVII (nos 1 à 5) 1872; XVIII (nos 1 et 2) 1872. 4°. — Dr. A. Th. von Middendorff's Sibirische Reise, T. I (part. I et II); T. II (part. I et II, 1re livr.); T. III (part. I, 1re et 2e livr.; part. II, 1re livr.); T. IV (part. I, livr. 1, 3 et 4; part. II, 1re livr.) 1847-1867. 4°. — Zoographia Rosso-asiatica, auctore Petro Pallas, T. I, II et III, 1811-1831. 4°. — Icones ad Zoographiam Rosso-asiaticam, fasc. I à VI. 4°. — Repertorium für Meteorologie, T. II (2e livr.) 1872. 4°.

St-Pétersbourg. *Observatoire physique central de Russie.* — Annalen des physikalischen Central-Observatoriums, Années 1870 et 1871. 4°.

St-Pétersbourg. *Jardin Impérial de Botanique.* — Troudy Imperatorskago S.-Petersburgago botanitcheskago Sada, T. I (2e livr.) 1872; II (1re livr.) 1873. 8°. — Delectus seminum quæ Hortus botanicus imperialis petropolitanus pro mutua commutatione offert 1870. 8°.

Allemagne.

Berlin. *Académie Royale des sciences.* — Monatsbericht der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Année 1872 (Avril à Décembre); année 1873 (Janvier et Février n° 1). 8° Berlin.

Berlin. *Société des Amis des sciences naturelles.* — Mittheilungen aus den Verhandlungen der Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin, années I à III, 1836-1838. 8°. —

Sitzungsberichte der Gesellschaft naturforschender Freunde, années 1866 à 1868. 4°; — années 1870 à 1872. 8° Berlin.

BERLIN. *Société botanique.* — Verhandlungen des botanischen Vereins für die Provinz Brandenburg und die angrenzenden Länder, T. X à XIII. 8° Berlin 1868–1871.

BERLIN. *Société allemande de géologie.* — Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, T. XXIV (nos 1 à 4) 1872; XXV (n° 1) 1873. 8° Berlin.

BERLIN. *Société de géographie.* — Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, T. VII (n° 5). 8° Berlin 1872.

BERLIN. *Société d'horticulture.* — Wochenschrift des Vereins zur Beförderung des Gartenbaues in den koniglich kpreussischen Staaten für Gärtnerei und Pflanzenkunde, T. XV (nos 26 à 52). 4° Berlin 1872. — Monatsschrift, T. XVI (nos 1 à 6). 8° Berlin 1873.

BERLIN. *Société de physique.* — Die Fortschritte der Physik im Jahre 1866 (T. XXII) 1869; im Jahre 1867 (T. XXIII) 1872; — im Jahre 1868 (T. XXIV) 1872. 8° Berlin.

BERLIN. *Jardin botanique.* — Appendix observationum botanicarum ad indicem seminum in Horto berolinensi anno 1872 collectorum. 4° Berlin.

BRÊME. *Société des sciences naturelles.* — Abhandlungen herausgegeben vom Naturwissenschaftlichen Vereine zu Bremen, T. III (livr. 2 et 3). 8° Brême 1872–1873. — Beilage n° 2. Tabellen über den Flächeninhalt des Bremischen Staats, den Wasserstand der Weser und die Witterungsverhältnisse des Jahres 1871. 4° Brême 1872.

BONN. *Société d'histoire naturelle.* — Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussichen Rheinlande und Westphalens, T. XXVII (livr. 1 et 2) 1870; XXVIII (livr. 1 et 2) 1871; XXIX (1re livr.) 1872. 8° Bonn.

BRESLAU. *Société silésienne pour l'étude du pays.* — Abhandlungen der schlesischen Gesellschaft für vaterlandische Cultur. Abtheilung für Naturwissenschaften und Medicin 1869-72. — Philosophisch-historische Abtheilung 1871. — Neunundvierzigster Jahresbericht der Schlesische Gesellschaft für Vaterländische Cultur 1871. 8° Breslau.

COLMAR. *Société d'histoire naturelle.* — Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Colmar, 12e et 13e années. 8° Colmar 1871-72.

DARMSTADT. *Sociétés de géographie et de géologie.* — Notizblatt des Vereins für Erdkunde und verwandte Wissenschaften

zu Darmstadt, und des mittelrheinischen geologischen Vereins, 3e série, Xe livr. 8° Darmstadt 1871.

DRESDE. *Académie Impériale Léopoldo-Caroline des Curieux de la Nature.* — Nova acta Academiæ cæsareæ Leopoldino-Carolinæ Naturæ Curiosorum, T. XXXV. 4° Dresde 1870.

DRESDE. *Société de géographie.* — VIII. und IX. Jahresbericht des Vereines für Erdkunde zu Dresden. 8° Dresde 1872.

DRESDE. *Société d'histoire naturelle « Isis. »* — Sitzungsberichte der naturwissenchaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden, année 1872 (Octobre à Décembre). 8° Dresde 1873.

EMDEN. *Société des sciences naturelles.* — Jahresbericht über die Verrichtungen und den Zustand der naturforschenden Gesellschaft in Emden. Années 1840 à 1848, 1850 à 1852. 8°. — Jahresbericht der naturforschenden Gesellschaft in Emden, Années 1853 à 1856, 1867, 1870, 1871. 8°. — Kleine Schriften, nos II et III, 1855; XII, 1867; XVI, 1872. 8° Emden.

FRANCFORT. *Société des sciences naturelles.* — Abhandlungen herausgegeben von der Senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft, T. VIII (livr. 1 et 2). 4° Francfort 1872. — Bericht über die Senckenbergische naturforschende Gesellschaft von Juni 1870 bis Juni 1871. 8° Francfort 1871.

FRIBOURG EN BRISGAU. *Société des sciences naturelles.* — Berichte über die Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Brisgau, T. VI (n° 1). 8° Fribourg 1873.

GŒRLITZ. *Société des sciences naturelles.* — Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Görlitz, T. I, 1827; II, 1836-38; III (2e livr.) 1842; IV, 1844-1847; V, 1848-50; VI, 1851-53; XIV, 1871. 8° Gœrlitz.

GŒRLITZ. *Société des sciences de la Haute-Lusace.* — Neues Lausitzisches Magazin, T. XLVIII (2e livr.) 1871; XLIX (2e livr.) 1872. 8° Gœrlitz.

GŒTTINGUE. *Société Royale des sciences.* — Nachrichten von der kön. Gesellschaft der Wissenschaften und der Georg-Augusts-Universität aus dem Jahre 1871. 8° Gœttingue 1871.

GREIFSWALD. *Société des sciences naturelles.* — Mittheilungen aus dem naturwissenschaftlichen Vereine von Neu-Vorpommern und Rügen, T. II à IV. 8° Berlin 1870-1872.

HALLE. *Société des sciences naturelles pour la Saxe et la Thuringe.* — Zeitschrift für die gesammten Naturwissen-

schaften, nouvelle série, T. XXXV à XXXVIII. 8° Berlin 1870-1871.

HANOVRE. *Société d'histoire naturelle.* — Einundzwanzigster Jahresbericht der naturhistorischen Gesellschaft zu Hannover von Michaelis 1870 bis dahin 1871. 8° Hanovre 1871.

HEIDELBERG. *Société d'histoire naturelle et de médecine.* — Verhandlungen des naturhistorisch-medizinischen Vereins zu Heidelberg, T. VI (n° 2). 8° Heidelberg 1872.

KIEL. *Université.* — Schriften der Universität zu Kiel aus dem Jahre 1869, T. XVI, 1870; — aus dem Jahre 1870, T. XVII, 1871; — aus dem Jahre 1871, T. XVIII, 1870. 4° Kiel.

KŒNIGSBERG. *Société Royale physico-économique.* — Schriften der königlichen physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg, T. IX, 1868; X, 1869; XI, 1870; XII, 1871; XIII (n° 1) 1872. 4° Kœnigsberg.

MULHOUSE. *Société industrielle.*— Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, année 1865 (Décembre); année 1867 (Janvier à Décembre); année 1868 (Juillet à Octobre, supplém. à Mai, Juin et Juillet); année 1870 (Avril, Août, Octobre à Décembre); année 1871 (Janvier à Décembre); année 1872 (Janvier à Décembre); année 1873 (Janvier à Juillet). 8° Mulhouse.

MUNICH. *Académie Royale des sciences.* — Abhandlungen der mathematisch-physikalischen Classe der königlich bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München, T. XI (1re partie). 4° Munich 1871. — Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Classe, année 1871 (nos 1, 3); année 1872 (nos 1 et 2). 8°. — Inhaltsverzeichniss zu Jahrgang 1860-1870 der Sitzungsberichte. 8° Munich 1872.

MUNICH. *Observatoire.* — Annälen der Münchener Sternwarte. Supplementband XI, 1871; XII, 1872. 8° Munich.

NUREMBERG. *Société d'histoire naturelle.* — Abhandlungen der naturhistorischen Gesellschaft zu Nürnberg, T. V. 8° Nuremberg 1872.

OFFENBACH. *Société des sciences naturelles.* — Bericht des Offenbacher Vereins für Naturkunde, nos V à XII. 8° Offenbach 1864-1871. — Der Dr. Joh. Christ Senckenbergischen Stiftung widmet zu ihrer Säcularfeier am 18 August 1863 diese Denkschrift der Offenbacher Verein für Naturkunde. 4° Offenbach 1873.

STUTTGART. *Société des sciences naturelles.* — Württembergische naturwissenschaftliche Jahreshefte, T. XXVIII. 8° Stuttgart 1872.

WIESBADEN. *Société des sciences naturelles.* — Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, T. XXV, 1871; XXVI, 1872. 8° Wiesbaden.

WURZBOURG. *Société de physique et de médecine.* — Würzburger naturwissenschaftliche Zeitschrift, T. VI (n° 2). 8° Wurzbourg 1866. — Verhandlungen der physikalisch-medizinischen Gesellschaft in Würzburg, nouvelle série, T. II (n° 4) 1872; III (n°s 1 à 4) 1872; IV (n° 1) 1873. 8° Wurzbourg.

Autriche-Hongrie.

BRUNN. *Société pour le progrès de l'agriculture et des sciences en Moravie et Silésie.* — Mittheilungen der kaiserlich-königlichen mährisch-schlesischen Gesellschaft zur Beförderung des Ackerbaues, der Natur- und Landeskunde in Brünn, années 1870, 1871, 1872. 4° Brunn. — Notizen-Blatt der historisch-statistischen Sektion, années 1870, 1871, 1872. 4°. — Geschichte der k. k. mähr. schles. Gesellschaft zur Beförderung des Ackerbaues, der Natur- und Landeskunde, mit Rücksicht auf die bezüglichen Cultur-Verhältnisse Mährens und österreichischen Schlesiens. 8° Brunn 1870. — Landwirthschaftliche Reminiscenzen und Conjecturen im 100sten Gründungsjahre der kais. kön. mähr. schles. Gesellschaft für Ackerbau-, Natur- und Landeskunde. 8° Brunn 1870.

BRUNN. *Société des sciences naturelles.* — Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn, T. VIII, 1870; IX, 1871. 8° Brunn.

CRACOVIE. *Société Impériale et Royale des sciences.* — Rocznik Towarzystwa naukowego Krakowskiego z Uniwersytetem Jagiellonskim polaczonego, 2e série, T. II, 1843; III, 1847; IV (n°s 2 à 4) 1849; V (n°s 1 à 3) 1850; VI : Oddzialu nauk przyrodniczych i lekarskich (n°s 1 à 3); Oddzialu sztuk i archeologii (n°s 1 et 2, et atlas); Oddzialu nauk moralnych (n°s 1 et 2). 1851-52. 8°. — Rocznik Ces. Krol. Towarzystwa naukowego Krakowskiego, 3e série, T. VI à XXI, 1862-1872. 8°. — Biblioteka naukowa wydawana staraniem C. K. Towarzystwa naukowego Krakowskiego. Botaniki szcegolnéj, T.

II à VI, 1852-1863. 8°. — Sprawozdanie komisyi fizyograficznéj, T. III à VI, 1869-1872. 8°. — Jakuba Michalowskiego a pozniéj kasztelana bieckiego Ksiega Pamietnicza. 8° Cracovie 1864. — Zaklady Uniwersyteckie w Krakowie. Przyczynek do dziejow oswiaty krajowéj podany i pamieci pieciuset letniego istnienia Uniwersytetu Krakowskiego. 8° Cracovie 1834. — Statuta necnon Liber promotionum philosophorum ordinis in Universitate studiorum jagellonica ab anno 1402 ad annum 1849. 8° Cracovie 1849. — Monografia opactwa cystersow w wsi Mogile. 4° Cracovie 1867. — Wykaz zdrojowisk lekarskich Galicyi i Bukowiny, dja objasniena mappy tychze zdrojowisk. 8° Cracovie 1862.

Hermannstadt. *Société des sciences de Transsylvanie.* — Verhandlungen und Mittheilungen des siebenbürgischen Vereins für Naturwissenschaften zu Hermannstadt, T. XXII. 8° Hermannstadt 1872.

Prague. *Société Royale des sciences de Bohême.* — Abhandlungen der königlich böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, 6e série, T. IV, 1871; V, 1872. 4°. — Sitzungsberichte der königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften in Prag, année 1870 (1-2); année 1871 (1-2); année 1872 (1). 8° Prague.

Prague. *Société d'histoire naturelle « Lotos. »* — Lotos. Zeitschrift für Naturwissenschaften, T. XX. 8° Prague 1870.

Vienne. *Académie Impériale des sciences.* — Anzeiger der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe, T. IX (nos 4 à 6, 17 à 29) 1872; X (nos 1 à 15) 1873. 8° Vienne.

Vienne. *Société Impériale et Royalè de zoologie et de botanique.* — Verhandlungen der kaiserlich-königlichen zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien, T. XXII. 8° Vienne 1872.

Vienne. *Société Impériale et Royale de géographie.* — Mittheilungen der kaiserlichen und königlichen geographischen Gesellschaft in Wien, T. XIV. 8° Vienne 1871.

Suisse.

Genève. *Société de physique et d'histoire naturelle.* — Mémoires de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève, T. X (fasc. 1 et 2) 1843-1844: XI (fasc. 1 et 2) 1846-1848, XII (fasc. 1 et 2, et suppl. 1 et 2) 1849-1851:

XIII (fasc. 1 et 2) 1852-1854; XX (fasc. 1) 1869; XXI (fasc. 2) 1872; XXII, 1873. 4° Genève.

LAUSANNE. *Société des sciences naturelles.* — Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles, T. XI (n° 68). 8° Lausanne 1872.

SAINT-GALL. *Société des scienees naturelles.* — Bericht über die Thätigkeit der St-Gallischen naturwissenchaftlichen Gesellschaft wahrend des Vereinsjahres 1870-71. 8° St-Gall 1872.

ZURICH. *Société des sciences naturelles.* — Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich, T. XIV (nos 1 à 4) 1869; XV (nos 1 à 3) 1870; XVI (nos 1 à 4) 1871. 8° Zurich.

Italie.

CATANE. *Société des sciences naturelles.* — Atti dell' Accademia Gioenia di scienze naturali di Catania, 3e série. T. V. 8° Catane 1871.

FLORENCE. — *Académie Royale des Géorgophiles.* — Continuazione degli Atti della Reale Accademia economico-agraria dei Georgofili di Firenze, 3e série, T. I à XVI. 8° Florence 1853-1869. — Atti, 4e série, T. I (nos 1 à 4) 1871; II (nos 1 et 2) 1872. 8°. — Degli studj e delle vicende della Reale Accademia dei Georgofili, nel primo secolo di sua esistenza. 8° Florence 1856.

FLORENCE. *Comité Royal géologique d'Italie.* — Reale Comitato geologico d'Italia. Bollettino, T. III (nos 5 à 12) 1872; IV (nos 1 à 6) 1873. 8° Florence.

FLORENCE. *Société entomologique italienne.* — Bullettino della Società entomologica italiana, T. I, 1869: II, 1870; III, 1871; IV, 1872: V (n° 1) 1873. — Resoconto delle adunanze generali e parziali per l'anno 1872 (nos 1 à 3). 8° Florence.

MILAN. *Institut Royal des sciences et lettres de Lombardie.* — Memorie del Reale Istituto Lombardo di scienze e lettere. Classe di scienze mathematiche e naturali, 3e série, T. II (fasc. 3) 1870; III (fasc. 1 à 3) 1870-71. 4°. — Rendiconti, 2e série, T. II (nos 17 à 20) 1869; III (nos 1 à 20) 1870; IV (nos 1 à 20) 1871; V (nos 1 à 3) 1872. 4°. — Rapporti sui progressi delle scienze (1re livr.). 8° Milan 1870.

MILAN. *Observatoire Royal de Brera.* — Pubblicazioni del Reale Osservatorio di Brera in Milano, 1re livr. 4° Milan 1873.

MONCALIERI. *Observatoire.* — Bullettino meteorologico dell' Osservatorio di Moncalieri, T. VI (nos 7 à 12) 1871; VII (no 1) 1872; VIII (nos 1 à 3) 1873. 4° Turin.

PISE. *Universités de la Toscane.* — Annali delle Università toscane, T. VI à XII. 4° Pise 1862-1872.

PISE. — Nuovo Giornale botanico italiano, T. IV (nos 1 à 4) 1872; V (nos 1 et 2) 1873. 8° Pise.

ROME. *Académie Royale des Lincei.* — Atti della Reale Accademia dei Lincei, T. XXV (fasc. 1 à 6). 4° Rome 1872.

VENISE. *Institut vénitien des sciences, lettres et arts.* — Memorie del Reale Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti, T. XVI (2e partie) 1872; XVII (1re partie) 1872. 4°. — Atti del Reale Istituto Veneto, 4e série, T. I (nos 7, 8, 10) 1872; II (nos 1 à 4) 1872-73. 8° Venise.

Asie.

BATAVIA. *Observatoire.* — Observations made at the magnetical and meteorological Observatory at Batavia, T. I. 4° Batavia 1871.

BATAVIA. *Société des arts et sciences.* — Verhandelingen van het Bataviaasche Genootschap van Kunsten en Wetenschappen, T. XXXIV, 1870; XXXV, 1871; XXXVI, 1872. 4°. — Notulen van de algemeene en Bestuurs-Vergaderingen, T. VII (no 2 à 4) 1869; VIII (nos 1 à 3) 1870; IX, 1871; X (nos 1 à 3) 1872. 8°. — Tijdschrift voor Indische Taal-, Land- en Volkenkunde, T. XVIII (nos 2 à 6) 1871-72; XIX (nos 1 à 6) 1869-70; XX (nos 1 à 3) 1871. 8°. — Eerste vervolg Catalogus der Bibliotheek, en Catalogus der maleische, javaansche en kawi Handschriften van het Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen. 8° Batavia 1872.

CALCUTTA. *Société asiatique du Bengale.* — Journal of the Asiatic Society of Bengal, 1re série, nos 133, 134, 176, 190, 201, 204, 208 à 210, 217, 227, 234, 268, 270, 275 à 279, 283. 8° Calcutta 1843-1860. — Nouvelle série, nos 136, 142, 143, 151, 153, 155 à 176. 8° 1866-1872. — Proceedings, année 1866 (nos 4 à 12); année 1871 (no 1); année 1868 (no 12); année 1869 (nos 1 à 3, 6 à 11); année 1870 (nos 1 à 11); année 1871 (no 1 à 4, 6 à 13); année 1872 (nos 1 à 8). 8° Calcutta.

Amérique du Nord.

BOSTON. *Académie américaine des arts et des sciences.* — Memoirs of the American Academy of arts and sciences, T. X (1re partie) 4° Boston 1868. — Proceedings of the American Academy of arts and sciences, T. VIII (fes 38 à 51). 8° Boston 1872.

BOSTON. *Société d'histoire naturelle.* — Memoirs of the Boston Society of natural history, T. II (part. 1, nos 2 et 3 ; part. II, n° 1). 4° Boston 1871-1872. — Boston Journal of natural history, T. I (nos 2 et 3) 1835-36 ; II (nos 1 à 4) 1838-1839; IV (nos 2 à 4) 1842-1844 ; V (no 1) 1845. 8°. — Proceedings of the Boston Society of natural history, T. XIII, 1871 ; XIV (fes 1 à 14) 1871-1872. 8°. — Condition and doings of the Boston Society of natural history. 8° Boston 1869.

CAMBRIDGE. *Musée de zoologie comparée.* — Annual Report of the Trustees of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College in Cambridge, together with the Report of the Director, années 1870 et 1871. 8°. — Illustrated Catalogue of the Museum of Comparative Zoology, T. VII (1re et 2e part. et atlas). 4° Cambridge 1872.

NEW-YORK. *Société d'histoire naturelle.* — Annals of the Lyceum of natural history of New-York, T. IX (n° 13) 1870; X (nos 1 à 7) 1871-1872. 8°. — Proceedings of the Lyceum of natural history in the city of New York, T. 1 (fes 1 à 15) 1870-71. 8° New-York.

PHILADELPHIE. *Académie des sciences naturelles.* — Proceedings of the Academy of natural sciences of Philadelphia, année 1870 (nos 1 à 3); année 1871 (nos 1 à 3). 8° Philadelphie.

WASHINGTON. *Ministère de l'Agriculture.* — Report of the Commissioner of Agriculture for the years 1862, 1863, 1864, 1865, 1869, 1870, 1871. 7 vol. 8° Washington.

Amérique du Sud.

BUENOS-AYRES. *Musée public.* — Anales del Museo publico de Buenos Aires, fasc. X et XI. 4° Buenos-Ayres 1872-1873.

§. 3. *Ouvrages divers.*

Les noms des membres de la Société sont précédés d'une astérisque *.

* Agassiz (Alexander). — Revision of the Echini. I et II. 4° Cambridge 1872.
* Ångström (A.-J.). — Recherches sur le spectre solaire. 4° Upsal 1868.
* Arnault (J.-C.). — Note sur les manœuvres des bâtiments à voiles. Règle unique à laquelle on peut les ramener. Adoption de cette règle en vue d'éviter les abordages. 8° Cherbourg 1873.

Asman (P.-H.). — Proeve eener geneskundige plaatsbeschrijving van de gemeente Leeuwarden. 4° Utrecht 1870.

Baudet (P.-J.-H.). — Leven en werken van Willem Jansz Blaeu. 8° Utrecht 1871.

Behm. — voir Dohrn.

Bell (Thomas). — Addresses to the Linnean Society of London 1860, 1861. 8° Londres 1860-1861.

* Bentham (George). — Addresses to the Linnean Society of London 1865, 1866, 1867, 1868. 8° Londres 1865-1868.

Bergman (J.-Theod.). — Memoria Ludovici Caspari Valckenarii. 8° Utrecht 1871.

Bernardin. — Classification de 100 caoutchoucs et gutta-perchas, suivie de notes sur les sucs de Balata et de Massarandula. 8° Gand 1872.

* Bert (Paul). — Sur les phénomènes et les causes de la mort des animaux d'eau douce que l'on plonge dans l'eau de mer. 4° Paris 1871. — Influence des diverses couleurs sur la végétation. 4° Paris 1872. — Recherches expérimentales sur l'influence que les changements dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie, 4e, 5e, 6e, 7e, 8e, 9e et 10e notes. 4° Paris 1872-1873. — Mémoire sur la physiologie de la Seiche (Sepia officinalis L.). — Sur la mort dans l'eau douce des poissons de mer, 2e note. — Les animaux voient-ils les mêmes rayons lumineux que nous? 8° Bordeaux 1870. — Recherches sur les mouvements de la Sensitive (Mimosa pudica L.). 8° Bordeaux 1870. — Notice sur les titres et les travaux scientifiques du Dr Paul Bert. 4° Paris 1869.
* Bertin (Emile). — Notes sur la théorie et l'observation de la houle et du roulis. 8° Paris 1872.

* Blytt (Axel). — Bidrag til kundskaben om vegetationen paa Nowaja Semlja, Waigatschöen og ved Jugorstrædet. 8° Christiania 1872.

Böhtlingk (O.). — Über die Sprache der Jakuten. — Jakutischer Text. — Jakutische Grammatik. — Jakutisch-deutsches Wörterbuch. 4° St-Pétersbourg 1851. — voir Middendorff's Sibirische Reise.

Boncompagni. — Catalogo dei lavori di Felice Chiò. 4° Rome 1872.

Borszczow (E.-G. et G.-G.). — Musci Taimyrenses, Boganidenses et Ochotenses, necnon Fungi Boganidenses et Ochotenses. 4° St-Pétersbourg 1866. — voir Middendorff's Sibirische Reise.

Bory de St-Vincent, etc. — Dictionnaire classique d'histoire naturelle. 17 vol. 8° Paris 1822–1831.

Bouchardat (A.) et E. Caventou. — Examen et analyse de dix-neuf échantillons de vins de l'Algérie, suivis de considérations sur la fabrication et la conservation du vin dans ce pays. 8° Paris 1861.

* Boussinesq (J.). — Addition au mémoire sur la théorie des ondes et des remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire. 4° Paris 1873.

* Brandt (F.). — voir Middendorff's Sibirische Reise.

* Buys-Ballot (C.-H.-D.). — Uitkomsten der meteorologische Waarnemingen gedaan in 1849 en 1850 te Utrecht. 4° Utrecht 1851. — Meteorologische Waarnemingen in Nederland 1851. 8° Utrecht 1852. — Meteorologische Waarnemingen in Nederland en Afwijkingen der Temperatur en Barometerhoogte ook op enkele plaatsen buiten Nederland 1852. 4° Utrecht 1852.

* Cardile Ciofalo (Giuseppe). — I fito-parassiti, ovvero contributo allo studio di cause morbose non ben conosciute dagli antichi, 2e édition. 8° Palerme 1870. — La medicina forense, ovvero manuale pei medici periti, magistrati ed avvocati. livr. 1 à 4. 4° Palerme 1872.

* Caruel (T.). — Nuovo giornale botanico italiano. T. IV (nos 1 à 4) et V (nos 1 et 2). 8° Florence 1872–1873.

* Caventou (Eugène). — Sur quelques bromures et sur un hydrogène carboné nouveau de la formule $C^n H^{2n-2}$ de la série hexylique. 4° Paris 1864. — Sur les bromures d'éthyle bromés. Transformation de l'alcool en glycol. 4° Paris. — Sur le bromure de butylène bibromé et ses isomères et sur

un nouvel hydrogène carboné. 8° Paris. — Analyse chimique de quarante espèces de vins de l'Algérie. 8° Paris 1863. — voir A. Bouchardat.

CELORIA (Giovanni). — Sul grande commovimento atmosferico avvenuto il 1a di Agosto 1872 nella Bassa Lombardia e nella Lomellina. 4° Milan 1873.

* CIALDI (Alessandro). — Avviso ai naviganti ed agl' idraulici sul Porto-Saido, ed invito allo studio di provvedimento, accompagnato d'alcune considerazioni. 4° Milan 1872. — Leonardo da Vinci, fondatore della dottrina sul moto ondoso del mare. 4° Rome 1872. — Effetti del moto ondoso allegati nella Geografia fisica del mare e sua meteorologia scritta dal Maury, tradotta dal Gatta. (Lettera). 8° Rome 1872.

* CLOS. — De la disposition adoptée en 1869-1870 dans la replantation de l'Ecole de botanique du Jardin des plantes de Toulouse. 8° Toulouse 1872. — De quelques principes d'organographie végétale. 8° Toulouse 1872.

COCHET (abbé). — Répertoire archéologique du Département de la Seine-Inférieure. 4° Paris 1872.

* CORENWINDER (B.). — Discours prononcé dans la séance solennelle du 29 Décembre 1872, de la Société des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille. 8° Lille 1872.

CZERWIAKOWSKI (J.-R.), — Opisanie roslin jednolistniowych lékarskich i przemyslowych. Botaniki szcegolnéj, T. II à VI. 8° Cracovie 1852-1863.

DEL GIUDICE (F.). — De' lavori accademici del Reale Istituto d'Incoraggiamento alle scienze naturali, economiche e tecnologiche di Napoli nell' anno 1872, e cenni biografici del socio Leopoldo del Re. 4° Naples 1873.

* DENZA (Francesco). — Intorno alle aurore polari del primo quadrimestre dell' anno 1872. 8° Milan 1872. — Sulla grande pioggia di stelle cadenti prodotta dalla cometa periodica di Biela e osservata la sera del 27 novembre 1872. 8° Milan 1872.

DIEBL (C.). — Landwirthschaftliche Reminiscenzen und Conjecturen im 100sten Gründungsjahre der kaiserlich-königlichen mährisch-schlesischen Gesellschaft für Ackerbau-, Natur- und Landeskunde. 8° Brunn 1870.

DOHRN (C.-A.) et BEHM. — Amtlicher Bericht über die acht und dreissigste Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Stettin im September 1863. 4° Stettin 1864.

* Du Moncel (Cte Th.). — Rapport sur les effets produits dans les piles à bichromate de potasse en général et avec les sels excitateurs de MM. Voisin et Dronier en particulier. 8° Paris 1872.

* Eeden (F.-W. Van). — Algemeene beschrijvende Catalogus der Houtsoorten van Nederlandsch Oost-Indië, aanwezig in het kolonial Museum of het Paviljoen te Haarlem. 8° Harlem 1872.

Eloy de Vicq. — Étude sur les Cuscutes observées dans les environs d'Abbeville. 8° Abbeville 1873.

Elvert (Christian Ritter d'). — Geschichte der kaiserlich-königlichen mährisch-schlesischen Gesellschaft zur Beförderung des Ackerbaues, der Natur- und Landeskunde, mit Rücksicht auf die bezüglichen Cultur-Verhältnisse Mährens und österreichischen Schlesiens. 1 vol. 8° Brunn 1870.

Erichson (W.-F.) — voir Middendorff's Sibirische Reise.

Erlenmeyer (Emil). — Die Aufgabe des chemischen Unterrichts gegenüber den Auforderungen der Wissenschaft und Technik. 4° Munich 1871.

Fischer (Seb.), — voir Middendorff's Sibirische Reise.

* Fournier (F.-Ernest). — Déviation des compas. Exposé théorique et pratique d'une méthode nouvelle pour déterminer rapidement, à la mer, dans toutes les circonstances de la navigation, les déviations de l'aiguille aimantée du compas-étalon. 1 vol. 8° Paris 1873.

* Frauenfeld (Georg Ritter von). — Zoologische Miscellen, XVI (2e partie) et XVII. 8° Vienne 1872-1873. — Phylloxera vastatrix. 8° Vienne 1872. — Die Frage des Vogelschutzes. 8° Vienne 1872.

* Froude (W.). — On the influence of resistance upon the rolling of ships. 8° Londres 1872.

Gabba (Luigi). — Sopra alcuni recenti studj di chimica organica e sull' applicazione dei loro risultati all' arte tintoria. 8° Milan 1870.

Gandoger (M.). — Révision du genre Cratægus, pour les sections des C. oxyacantha L. et oxyacanthoides Thuill. 8° Paris 1872.

* Garbiglietti (Antonio). — Intorno all' opuscolo di Hohnbaum Hornschuch: De Anguillarum sexu ac generatione (Gryphiæ 1872), con alcune ulteriori considerazioni sull' ermafroditismo delle Anguille pel professore G.-B. Ercolani. (Sunto). 8° Turin 1872. — Note ed osservazioni anatomico-

fisiologiche intorno alla memoria del Dott. Enrico Morselli sopra una rara anomalia dell' osso malare. 8° Turin 1872.

* Gelesnov (N.). — Über die Ursache der Färbung des Salzwassers im See Sak in der Krim. — Mikroskopische Untersuchung des heilsamen Schlammes aus den Salzseen Sak und Mainak. 8° St-Pétersbourg 1871.

Genocchi (Angelo). — Intorno ad una lettera del sig. Conte L.-F. Menabrea. 4° Rome 1873.

* Godron (A.). — Mélanges de tératologie végétale. 8° Cherbourg 1872. — Observations sur les pétales du Ranunculus auricomus. 8° Nancy 1872.

Gottsche (C.-M.), J.-B.-S. Lindenberg et C.-G. Nees von Esenbeck. — Synopsis Hepaticarum (et supplementum). 1 vol. 8° Hambourg 1844-1847.

* Gras (Auguste). — Le Ranunculacee del Piemonte, saggio tassonomico. 4° Turin 1870. — Appunti di sinonimia botanica. 8° Turin 1870. — Della vita e degli scritti di Paolo Savi. 8° Turin 1871.

* Grube (E.). — voir Middendorff's Sibirische Reise.

Gutzeit (W. von). — Zur Geschichte der Forschungen über die Phosphorite des mittlern Russlands. 4° Riga 1870.

* Harting (P.). — Mémoire sur le genre Potérion. 4° Utrecht 1870.

Hartog (J.). — De spectatoriale Geschriften van 1741-1800. 8° Utrecht 1872.

Helland (Amund). — Forekomster af kise i visse skiffene i Norge. 4° Christiania 1873.

* Hinrichs (Gustavus). — The School-laboratory of physical science, T. II (n° 2). 8° Iowa City 1872.

* Hoffmann (H.). — Pflanzen-Misbildungen. 8° Brême 1873.

* Joly (N.). — Étude sur les métamorphoses des Axolotls du Mexique. Développement et rotation de leur embryon dans l'œuf. 8° Montpellier 1872. — Sur l'hypermétamorphose de la Palingenia virgo à l'état de larve; analogie de cette larve avec les Crustacés. 8° Toulouse 1872. — Contributions à l'histoire naturelle et à l'anatomie de la Mouche-feuille des Iles Seychelles. 8° Toulouse 1872.

Krecke (F.-W.-C.). — Windwaarnemingen in Nederland gedurende de Jaaren 1849 en 1850. 4° Utrecht.

* Krempelhuber (August von). — Geschichte und Literatur der Lichenologie von den ältesten Zeiten bis zum Schlusse des Jahres 1865. 2 vol. 8° Munich 1867-1869.

* LAMONT (J. von). — Verzeichniss von 3571 telescopischen Sternen zwischen + 9° und + 15° Declination. 8° Munich 1871. — Verzeichniss von 4093 telescopischen Sternen zwischen — 9° und — 15° Declination. 8° Munich 1872.

* LEA (Isaac). — Rectification of T.-A. Conrad's « Synopsis of the family of Naiades of North America ». (nouvelle édition). 8° Philadelphie 1872.

* LEIGHTON (Rev. W.-A.). — The Lichen-Flora of Great-Britain, Ireland and the Channel Islands. 1re édition, 12° Shrewsbury 1871; 2e édition, 12° Shrewsbury 1872. — Notes on the Lichens of the Island of St-Helena. 4° Londres 1869. — Lichenes amazonici et andini lecti a Domino Spruce. 4° Londres 1866. — Observations on the species of Zannichellia by Ad. Steinheil. (Traduction). 8° Londres. — Monograph of the british Umbilicaria. 8° Londres 1856. — New british Arthoniæ. 8° Londres 1856. — New british Lichens. 8° Londres 1857. — Notes on british Lichens. 8° Londres 1865. — On the gland of the phyllodium of Acacia magnifica. 8° Londres 1865. — Notes on Lichens collected by sir John Richardson in Arctic America. 8° Londres 1866. — Additions to the Lichens of New-Zealand. 8° Londres 1867. — On a new species ot Umbilicaria. 8° Londres 1867. — Notulæ lichenologicæ. nos I à XXXV. 8° Londres 1866. — Lichenological memorabilia, nos I et II. 8° Londres 1872.

LE MONNIER (G.), — voir Van Tieghem.

* LIAIS (Emmanuel). — Climats, géologie, faune et géographie botanique du Brésil. 1 vol. 8° Paris 1872. — Carte physique du Brésil oriental. 8° Paris 1872.

LINDENBERG (J.-B.-S.) — voir Gottsche.

LINDSTEDT (Karl). — Über einige Arten aus der Familie der Saprolegniaceæ. 8° Berlin 1872.

* LINDER (O.). — Note sur les variations séculaires du magnétisme terrestre. 8° Bordeaux 1869. — Sur la classification des terrains tertiaires de la Gironde. 8° Bordeaux 1869. — Du nombre des freins qu'il convient d'introduire dans les trains de chemin de fer. 8° Bordeaux 1870. — Des granules magnétiques qu'on observe dans quelques dépôts du bassin de la Gironde. 8° Bordeaux 1872. — Des dépôts lacustres du vallon de Saucats. 8° Bordeaux 1872. — Sur l'origine des aurores polaires. 8° Bordeanx 1872.

Maclear (Sir Thomas). — Verification and extension of La Caille's Arc of meridian at the Cape of Good Hope. 2 vol. 4° 1866.

* Marignac (Ch.). — Sur les poids atomiques du Chlore, du Potassium et de l'Argent. 8° Genève 1842. — Analyses diverses destinées à la vérification de quelques équivalents chimiques. 8° Genève 1843. — Sur les poids atomiques du Cérium, du Lanthane et du Didyme. 8° Genève 1849. — Sur l'isomorphisme des fluosilicates et des fluostannates et sur le poids atomique du Silicium. 8° Genève 1858. — Sur les équivalents chimiques du Baryum, du Strontium et du Plomb. 8° Genève 1858. — Essais sur la séparation de l'acide niobique et de l'acide titanique ; analyse de l'Æschynite. 8° Genève 1867. — Recherches sur les combinaisons du Niobium. 1er et 2e mémoires. 8° Genève 1865-1866. — Recherches sur les combinaisons du Tantale. 8° Genève 1866. — Recherches sur la réduction du Niobium et du Tantale. 8° Genève 1868. — Sur la chaleur latente de volatilisation du sel ammoniac et de quelques autres substances. 8° Genève 1868. — De l'influence de l'eau sur les doubles décompositions salines et sur les effets thermiques qui les accompagnent. 8° Genève 1869. — Recherches sur les chaleurs spécifiques, les densités et les dilatations de quelques dissolutions. 8° Genève 1870. — Recherches sur le Didyme et sur ses principales combinaisons. 8° Paris. — Recherches chimiques et cristallographiques sur les fluozirconates ; formule de la Zircone. 8° Paris. — Recherches chimiques et cristallographiques sur les tungstates, les fluotungstates et les silicotungstates. 8° Paris. — Notices chimiques et cristallographiques sur quelques sels de Glucine et des métaux de la Cérite. 8° Genève 1873.

* Masters (Maxwell T.). — Synopsis of the South-African Restiaceæ. 8° Londres. — Contributions to the natural history of the Passifloraceæ. 4° Londres 1871.

Menetries (E.). — voir Middendorff's Sibirische Reise.

* Mercklin (C. von). — Notiz über Erscheinungen an den Pflanzen während der Sonnenfinsterniss an 16 (28) Juli 1861. 8° St-Pétersbourg 1851. — Anatomisch-physiologische Notizen über einige seltner blühende Pflanzen der kaiserlichen Gewächshäuser zu St-Petersburg. 8° Riga 1851.

Meyer (C.-A.) — voir Trautvetter.

MIDDENDORFF (Dr A. Th. von). — Reise in den äussersten Norden und Osten Sibiriens während der Jahre 1843 und 1844, mit allerhöchster Genehmigung auf Veranstaltung der kaiserlichen Akademie der Wissenchaften zu St-Petersburg ausgeführt, und in Verbindung mit vielen Gelehrten herausgegeben. T. I, 1re partie: Einleitung. Klimatologie. Geognosie. 1847; 2e partie: Botanik. (livr. 1 à 3) 1847-1856. — T. II. Zoologie. 1re partie: Wirbellose Thiere. 1851; 2e partie: Wirbelthiere. 1re livr. Säugethiere, Vogel und Amphibien. 1853. — T. III. Ethnographie. 1re partie: Über die Sprache der Jakuten, 1re livr.: Jakutischer Text; 2e livr.: Jakutische Grammatik. 1851; 2e partie, 1er livr.: Jakutisch-deutsches Wörterbuch. — T. IV, 1re partie: Übersicht der Natur Nord- und Ost-Sibiriens, 1re livr.: Einleitung, Geographie und Hydrographie. 1859; 3e livr.: Klima. 1861; 4e livr.: Die Gewächse Sibiriens. 1864; 2e partie, 1re livr.: Die Thierwelt Sibiriens. 1867. 4o St-Pétersbourg 1846-1867.

MOBERG (Adolf). — Sällskapets pro Fauna et Flora fennica inrättning och verksamhet ifrån dess Stiftelse den 1 November 1821 till den 1 November 1871. 8o Helsingfors 1871.

* MONTAGNE (J.-F.-C.). — Sylloge generum specierumque Cryptogamarum etc. 1 vol. 8o Paris 1856.

* MORO (Giov.). — Il gran ghiaccialo della Toscana. Lettera all' ill. sign. prof. Meneghini a Pisa. 8o Prato 1872.

MORSZTYNA (Ludw.). — Jakuba Michalowskiego a pozniéj Kasztelana beckiego Ksiega Pamietnicza, z dawnego rekopisma redacego wlasnoscia. 8o Cracovie 1864.

MUCZKOWSKI (Jos.). — Statuta nec non Liber promotionum philosophorum ordinis in Universitate studiorum jagellonica ab anno 1402 ad annum 1849. 1 vol. 8o Cracovie 1849.

* MULLER (Albert). — Note on a chinese artichoke-gall (mentionned and figured in Dr. Hance's paper on silkworm-oaks) allied to the european artichoke-gall of Aphilothrix gemmæ Lin. 8o Londres 1872. — On the manner in which the ravages of the larvæ of a Nematus, on Salix cinerea, are checked by Picromerus bidens L. 8o Londres 1872. — Contributions to entomological bibliography up to 1862. no 1. 8o Londres 1873.

* NEES VON ESENBECK — voir Gottsche.

PALLAS (P.-S.). — Zoographia Rosso-asiatica, sistens omnium animalium in extenso Imperio rossico et adjacentibus maribus observatorum recensionem, domicilia, mores et de-

scriptiones, anatomen atque icones plurimorum. T. I à III. 4° St-Pétersbourg 1811-1831. — Icones ad Zoographiam Rosso-asiaticam. 6 fascic. 4° St-Pétersbourg.

* Petrequin (J.-E.). — Nouvelles recherches sur l'emploi thérapeutique du Manganèse comme adjuvant du fer. 8° Paris 1852.

* Plateau (J.). — Sur la mesure des sensations physiques et sur la loi qui lie l'intensité de ces sensations à l'intensité de la cause excitante. 8° Bruxelles 1872. — Réponse aux objections de M. Marangoni contre le principe de la viscosité superficielle des liquides. 8° Bruxelles 1872. — Étude psychophysique. Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des sensations et spécialement des sensations de lumière et de fatigue, par M. Delbœuf (Rapport). 8° Bruxelles 1872.

* Prillieux (Ed.). — Étude sur les courbures que produisent les secousses sur les jeunes pousses des végétaux. 8° Paris. — Note sur des fleurs monstrueuses de Fuchsia. 8° Paris 1861. — Étude sur le mode de végétation des Orchidées. 8° Paris 1866. — Aperçu général de l'organisation des racines des Orchidées. 8° Paris 1866. — Observations sur la déhiscence du fruit des Orchidées. 8° Paris 1867. — Des effets de la gelée sur les plantes. 8° Paris 1869. — Expériences sur le verdissement des plantes étiolées. 8° Paris 1869. — Expériences sur la fanaison des plantes. 8° Paris 1870. — Chameaux, ânes et mulets. Rapport du Jury international de l'Exposition universelle de 1867. 8° Paris 1867.

* Quetelet (Ad.). — Tables de mortalité et leur développement d'après le plan d'une statistique internationale et comparée. 4° Bruxelles 1872. — Sur les étoiles filantes de la période de novembre 1871 et sur les aurores boréales des 9 et 10 du même mois. 8° Bruxelles 1871. — Étoiles filantes du mois d'août 1872. Aurores boréales des mois d'août et de septembre de la même année. Température des puits artésiens. 8° Bruxelles 1872. — Sur le huitième Congrès international de statistique tenu à St-Pétersbourg pendant le mois d'août 1872. 8° Bruxelles 1872. — Observations des phénomènes périodiques pendant l'année 1870. 4° Bruxelles. — Annales météorologiques de l'Observatoire Royal de Bruxelles, 5e année. 4° Bruxelles 1871.

* Quetelet (Ernest). — Sur l'aurore boréale du 4 février 1872. 8° Bruxelles 1872.

* Reed (E.-J.). — Our iron-clad ships; their qualities, performances and cost; with chapters on turret-ships, iron-clad rams, etc. 1 vol. 8° Londres 1869. — Shipbuilding in iron and steel. 1 vol. 8° Londres 1869. — On the unequal distribution of weight and support in ships, and its effects in still water, in waves, and in exceptional positions on shore. 4° Londres 1871.
* Roumeguère (Casimir). — Cryptogamie illustrée ou histoire des familles naturelles des plantes acotylédones d'Europe. Famille des Champignons. 1 vol. 4° Paris 1870. — Notice sur Jean-Louis Companyo. 8° Perpignan 1872.
* Ruprecht (F.-J.) — Tange der Ochotskischen Meeres. 4° St-Pétersbourg 1851. — voir Middendorff's Sibirische Reise.
* Sars (Georg-Ossian). — Histoire naturelle des Crustacés d'eau douce de Norvège. 1re livr. Malacostracés. 4° Christiania 1867. — On some remarkable forms of animal life from the great deeps off the Norwegian Coast. 4° Christiania 1872. — Carcinologiske Bidrag til Norges Fauna. I. Monographi over de ved Norges kyster forekommende Mysider (2e livr.). 4° Christiania 1872. — Nya arter af Cumacea samlade under K. Svenska Korvetten Josephines Expedition i Atlantiska Oceanen år 1869 af F.-A. Smitt och A. Ljungman. 8° Stockholm 1871. — Cumaceer fra de store Dybder i Nordishavet, indsamlede ved de Svenska arktiske Expeditioner aarene 1861 og 1868. 8° Stockholm 1871. — Beskrivelse af fire Vestindiske Cumaceer opdagede af Dr. A. Goës. 8° Stockholm 1871.

Saurel (Alfred). — Notice sur la commune et les eaux minérales de Propiac. 12° Avignon 1862. — Lorient et les Lorientais. 12° Lorient 1867. — Rapport sur le mouvement du cabotage en France pendant l'année 1868. 8° Marseille 1870. — Les bains de mer. La plage du Prado et la plage de Trouville. 8° Marseille 1871. — L'hopital n'est pas fait pour les chiens. 8° Marseille 1871. — Roux de Corse, ou notice historique et biographique sur George de Roux, marquis de Brue, négociant et armateur marseillais, 1703-1792. 8° Marseille 1871. — Du rôle que joue le chien dans la société et de l'influence qu'il exerce sur la civilisation. 12° Marseille 1871. — Des réformes à apporter dans la législation des annonces judiciaires et légales. 8° Marseille 1872. — La vallée

de l'Huveaume. 8° Marseille 1872. — La Penne, la Pennelle et le général Penellus. 8° Marseille 1872. — Rapport présenté à la Société de statistique de Marseille sur la candidature de M. Chervin. 8° Marseille. — Manuel de l'étranger dans la ville d'Aix. 18° Aix. — Almanach-Guide de Marseille et du département des Bouches-du-Rhône pour les années 1870, 1871, 1872. 18° Marseille.

* Scacchi (Arcangelo). — Contribuzioni mineralogiche per servire alla storia dell' Incendio Vesuviano del mese di Aprile 1872. 4° Naples 1872. — Notizie preliminarie di alcune specie mineralogiche rinvenute nel Vesuvio dopo l'incendio di Aprile 1872. 4° Naples 1872. — Sulla origine della cenere vulcanica. 4° Naples 1872. — Sulle forme cristalline di alcuni composti di toluene. 4° Naples 1870. — Note mineralogiche. Memoria prima. 4° Naples 1873.

* Schiaparelli (G.-V.) et F. Denza. — Sulla grande pioggia di stelle cadenti prodotta dalla cometa periodica di Biela e osservata la sera del 27 novembre 1872. 8° Milan 1872.

* Schübeler (F.-C.). — Die Pflanzenwelt Norwegens. Ein Beitrag zur Natur- und Culturgeschichte Nord-Europas. 4° Christiania 1873.

* Seynes (Jules de). — Essai d'une Flore mycologique de la région de Montpellier et du Gard. Observations sur les Agaricinés suivies d'une Énumération méthodique. 4° Paris 1863. — De la germination. 8° Paris 1865. — Note sur le Montagnites Candollei et sur le Gyrophragmium Delilei. 8° Paris 1862. — Des Agarics à forme pézizoïde et de leur développement. 8° Angers. — Observations sur le genre Mycenastrum. 8° Paris 1869. — Observations sur quelques monstruosités chez les champignons supérieurs. 8° Paris 1867. — Études sur le parasitisme. 8° Paris 1869. — Signification morphologique des Cystides. 4° Paris 1857. — Recherches sur quelques points de l'anatomie du genre Fistulina. 4° Paris 1867. — Sur le Mycoderma vini. 4° Paris 1868. — Sur le Penicillium bicolor. 4° Paris 1871. — Note sur les transformations des bactéries et des mucédinées en levûres alcooliques. 4° Paris 1872.

Sexe (S.-A.). — On the rise of land in Scandinavia. 4° Christiania 1872.

SIMON (Jules). — Discours.... à l'Assemblée générale des délégués des Sociétés savantes réunis à la Sorbonne le samedi 19 avril 1873. 8° Paris 1873.

* SIRODOT (S.). — Sur un dépôt osseux situé au pied du Mont-Dol (Ille-et-Vilaine). 4° Paris 1872. — Étude anatomique, organogénique et physiologique sur les algues d'eau douce de la famille des Lémanéacées. 8° Paris 1872. — Nouvelle classification des algues d'eau douce du genre Batrachospermum; développement; générations alternantes, 1re et 2e notes. 4° Paris 1873.

STIEDA (Ludwig). — Die Bildung des Knochengewebes. 4° Leipzig 1872.

STOFFEL (Georges). — Dictionnaire topographique du département du Haut-Rhin. 4° Paris 1868.

STRUVE (W.). — Recueil des mémoires des Astronomes de l'Observatoire central de Russie, T. I et II. 4° St-Pétersbourg 1853-1859.

* SZONTAGH (Miklos). — Elesztöképzödés vonatkoz assal a Ragalykérdésre. 8° Pesth 1870. — Az Erjedés és az uj Gomba-Elmélet. 8° Pesth 1870. — Karpati képek. 8° Pesth 1870. — Millio-Eves Elet. 8° Pesth 1872. — Korytnicza gyogy- s fürdöhely egyedirati vazlata orvosok, termeszettudosok és fürdövendegek szamara. 8° Bude 1873. — Allgemeine Curordnung beim Gebrauche der in Tatrafüred (Schmecks) in den Centralkarpathen bestehenden Curmittel. 16° Pesth 1873.

* TERRACCIANO (Nicola). — Flora Vulturis Synopsis exhibens plantas vasculares in Vulture monte ac finitimis locis sponte vegetantes. 4° Naples 1869.

TIGRI (Atto). — Sull' organizzazione delle Anguille e sul modo di venirne a capo. 8° Turin 1872. — Sulla riproduzione delle Anguille. Lettere 1a e 2a al dott. cav. Antonio Garbiglietti. 8° Turin 1872.

* TRAUTVETTER (E.-R. von). — Phänogame Pflanzen aus dem Hochnorden. 4° St-Pétersbourg 1847. — et C.-A. MEYER. Florula Ochotensis phænogama. 4° St-Pétersbourg 1856. — voir Middendorff's Sibirische Reise.

ULIVI (Giotto). — Esame critico delle teorie sulla partenogenesi delle Api. 8° Forli 1872.

URBAN (Ignatz). — Über Keimung, Blüthen- und Fruchtbildung bei der Gattung Medicago. 8° Berlin 1873.

* Van Tieghem (Ph.). — Recherches sur la structure du pistil et sur l'anatomie comparée de la fleur, 2 vol. 4° Paris 1871. — Recherches sur la symétrie de structure des plantes vasculaires, 1er fascicule. 8° Paris 1871. — Observations sur la Ficaire. 8° Paris 1866. — Recherches pour servir à l'histoire physiologique des Mucédinées ; fermentation gallique. 8° Paris 1868. — Recherches sur la structure du pistil. 8° Paris 1868. — Anatomie comparée de la fleur femelle et du fruit des Cycadées, des Conifères et des Gnétacées. 8° Paris 1868, et 4° Paris 1869. — Anatomie des fleurs et du fruit du Gui (Viscum album). 8° Paris 1869. — Structure du pistil des Primulacées et des Théophrastées. 8° Paris 1869. — Anatomie de la fleur des Santalacées. 8° Paris 1869. — Recherches physiologiques sur la végétation libre du pollen et de l'ovule et sur la fécondation directe des plantes. 8° Paris 1869. — Observations anatomiques sur le cotylédon des Graminées. 8° Paris 1871. — Note sur une coloration rose développée dans les fibres végétales par l'action ménagée des acides. 8° Paris 1863. — Note sur les colorations développées par les acides dans les végétaux. 8° Paris 1863. — Note sur une monstruosité de la fleur du Tropœolum majus propre à éclairer sur la structure de l'ovaire, l'origine des ovules et la nature des placentas. 8° Paris 1865. — Recherches sur la respiration des plantes submergées. 8° Paris 1866. — Anatomie de l'Utriculaire commune. 8° Paris 1868. — Anatomie de la fleur femelle et du fruit du Noyer. 8° Paris 1869. — Note sur la fermentation ammoniacale. 4° Paris 1864. — Sur les globules amylacés des Floridées et des Corallinées. 4° Paris 1865. — Sur la structure des anthères dans les Aroïdées. 4° Paris 1867. — Note sur la respiration des plantes aquatiques. 4° Paris 1867. — Sur la fermentation gallique. 4° Paris 1867. — Recherches sur la symétrie de structure des végétaux. 4° Paris 1869. — Recherches sur la symétrie de structure de l'ovule et sur l'orientation de l'embryon de la graine. 4° Paris 1869. — Respiration des plantes submergées, à la lumière d'une bougie; lieu de formation des gaz. 4° Paris 1869. — Sur la respiration des plantes submergées. 4° Paris 1869. — Sur les divers modes de nervation de l'ovule et de la graine. 4° Paris 1871. — Thèses présentées

à la Faculté des sciences de Paris pour obtenir le grade de Docteur ès-sciences physiques. 1re Thèse : Chimie. Recherches sur la fermentation de l'Urée et de l'acide hippurique. 2e Thèse : Propositions de physique données par la Faculté. 4° Paris 1864. — Thèses présentées à la Faculté des sciences de Paris pour obtenir le grade de Docteur ès-sciences naturelles. 1re Thèse : Recherches sur la structure des Aroïdées. 2e Thèse : Propositions de zoologie et de géologie données par la Faculté. 4° Paris 1867.

* Van Tieghem (Ph.) et G. Le Monnier. — Sur le polymorphisme du Mucor mucedo. 4° Paris 1872. — Sur le polymorphisme des organes reproducteurs dans le Mortierella. 4° Paris 1872. — Sur les zygospores du Mucor phycomyces. 4° Paris 1872.

* Weddell (H.-A.). — Voyage dans le Nord de la Bolivie et dans les parties voisines du Pérou, ou visite au district aurifère de Tipuani. 1 vol. 8° Paris 1853. — Notice sur l'Ahipa et l'Aricoma, plantes alimentaires du Haut-Pérou. 8° Paris 1857. — Considérations générales sur la famille des Urticées suivies de la description des tribus et des genres. 8° Paris 1857. — Revue du genre Cinchona. 8° Paris 1848. — Considérations sur l'organe reproducteur femelle des Balanophorées et des Rafflésiacées. 8° Paris 1850. — Description d'un cas remarquable d'hybridité entre des Orchidées de genres différents. 8° Paris 1852. — Revue de la famille des Urticées. 8° Paris 1854. — Sur les cystolithes ou concrétions calcaires des Urticées et d'autres végétaux. 8° Paris 1854. — Sur l'extraction du caoutchouc. 8° Paris 1854. — Coup-d'œil sur la flore de Plombières. 8° Paris 1855. — Rapport sur une visite faite par la Société botanique, en Août 1861, au Jardin des Plantes de la ville de Nantes. 8° Paris 1861. — Mandonia, nouveau genre de la famille des Composées. 8° Paris 1864. — Notes sur les Quinquinas. 8° Paris 1870. — Sur les Podostémacées en général et leur distribution géographique en particulier. 8° Paris 1872. — Sur le rôle du substratum dans la distribution des Lichens saxicoles. 4° Paris 1873.

* Wild (H.). — Repertorium für Meteorologie, T. II (2e livr.). 4° St-Pétersbourg 1872. — Annalen des physikalischen Central-Observatoriums. Années 1870 et 1871. 4° St-Pétersbourg 1872-1873.

* Willm (J.-Edmond). — Manuel de chimie théorique et pratique par William Odling. Edition française publiée avec l'autorisation de l'auteur. 1re partie : Métalloïdes. 1 vol. 8° Paris 1868. — Recherches sur le Thallium (Thèse). 4° Paris 1865.

Wunschmann (Ernest). — Über die Gattung Nepenthes besonders in Rücksicht auf ihre physiologische Eigenthümlichkeit. 8° Berlin 1872.

Zebrawski (Teof.). — Wykaz zdrojowisk lekarskich Galicyi i Bukowiny, dja objasnienia mappy tychze zdrojowisk. 8° Cracovie 1862.

* Zetterstedt (Joh.-Em.). — Plantes vasculaires des Pyrénées principales. 8° Paris 1857. — Monographiæ Andreæarum Scandinaviæ tentamen. 8° Upsal 1855. — Dispositio muscorum frondosorum in monte Kinnekulle nascentium. 8° Upsal 1854. — Revisio Grimmiearum Scandinaviæ. 8° Upsal 1861.



LISTE DES MEMBRES

DE LA

SOCIÉTÉ NATIONALE DES SCIENCES NATURELLES

DE CHERBOURG.

Bureau de la Société.

Fondateurs.

MM.

Cte Th. Du MONCEL, O ✻, directeur honoraire.
Aug. LE JOLIS, I ✻, archiviste-perpétuel.
Emm. LIAIS, ✻, secrétaire-perpétuel honoraire.

Bureau pour 1873.

H. JOUAN, O ✻, A ✻, président.
Emm. LIAIS, ✻, vice-président.
BERTIN, ✻, A ✻, secrétaire.
GEUFROY, ✻, trésorier.

Membres honoraires.

Cte Th. Du MONCEL, O ✻, ingénieur-électricien, à Paris.
THURET (Gust.), correspondant de l'Institut, à Antibes.

Membres titulaires.

1° Section des sciences médicales.

Dr GUIFFART, directeur de la Santé.
Dr MONNOYE, père, ✻, chirurgien en chef de l'Hôtel-Dieu.
Dr MONNOYE, fils.
Dr LEGARD-LAFOSSE, ✻, présid. de l'Association médicale.
Dr RICHAUD, O ✻, médecin en chef de la marine, officier de l'ordre de Charles III.
Dr RENAULT, vice président de la Société d'horticulture.
Dr LEFRANÇOIS, médecin de la Santé.
Dr CATTELOUP, O ✻, ancien médecin-princ. de la Guerre.

2° Section d'histoire naturelle et agriculture.

Aug. LE JOLIS, I ✿, Dr ès-sc., commandeur des ordres de St-Stanislas et d'Albert-le-Valeureux, chev. des ordres de Ste-Anne, de St-Grégoire, de François-Joseph, etc.
Cte H. DE TOCQUEVILLE, ✻, ✻, membre de l'Assemblée nationale.
Dr LEBEL, à Valognes.
H. HAMOND, consul de S. M. Britannique, chevalier de l'ordre des Guelphes.
H. DE LA CHAPELLE, commis principal des douanes.
JOSEPH-LAFOSSE, naturaliste, à St-Côme-du-Mont.
LEMOIGNE-DULONGPRÉ, propriétaire.
PLUQUET, ancien pharmacien.
LARNAC, sous-préfet de Cherbourg.

3° Section de géographie et de navigation.

H. JOUAN, O ✻, A ✿, capitaine de vaisseau.
Cte DE BÉRENGER, ancien officier de marine.
ARNAULT, ✻, lieutenant de vaisseau.
CHABIRAND, lieutenant de vaisseau.
FOURNIER (Ernest), ✻, lieutenant de vaisseau.
MOTTEZ, O ✻, capitaine de vaisseau.
VIGNES, O ✻, capitaine de frégate.

4° Section des sciences physiques et mathématiques.

Emm. LIAIS, ✱, astronome, officier de l'ordre de la Rose.
L. L. FLEURY, physicien.
GEUFROY, ✱, architecte, chev. de l'ordre de St-Grégoire.
VIBERT, I ✿, principal du collège.
JOFFRÈS, professeur de mathématiques.
BERTIN, ✱, A ✿, Dr en droit, ingénieur des constructions navales.
COURNERIE (G.), chimiste.
FAUVELLE, ingénieur des constructions navales.
LEBARBÉ, A ✿, prof. de mathématiques.
BODEN, ✱, s.-directeur de l'École d'application du Génie maritime.

Membres correspondants

NOMMÉS DEPUIS L'IMPRESSION DU XVIe VOLUME.

MM.
ABELEVEN, secrét. de la soc. botanique, à Nimègue.
AGASSIZ (Alex.), zoologiste, à Cambridge (Etats-Unis).
BALSAMO-CRIVELLI, prof. de zoologie, à Pavie.
BENNETT (J.-J.), secrét. de la soc. linnéenne de Londres.
BERGSMA, directeur de l'observatoire de Batavia.
BERT (Paul), prof. de physiologie, à Paris.
BERTRAND, membre de l'Institut, à Paris.
BUREAU (Ed.), aide-naturaliste au Museum de Paris.
CANTONI, prof. de physique expérimentale, à Pavie.
CAVENTOU, chimiste, à Paris.
CLERMONT (DE), chimiste, à Paris.
CLOEZ, chimiste, à Paris.
COLMEIRO, direct. du jardin botanique de Madrid.
CREMONA, prof. de géométrie supérieure, à Milan.
CURREY, secrét. de la société linnéenne de Londres.
DESHAYES, prof. au Museum d'hist. nat. de Paris.
DOLLFUS (G.), naturaliste, à Paris.
EEDEN (VAN), secrét. de la soc. industr. de Harlem.

FIGUIER (Louis), à Paris.
FROUDE (W.), ingénieur, à Chelston-Cross, Torquay.
GENNARI, recteur de l'université de Cagliari.
GRAS (Aug.), bibliothécaire de l'académie de Turin.
GRAY (John-Edw.), zool. au British museum de Londres.
HAAST (Julius), géologue du Gouv. à la N^lle-Zélande.
HUSNOT, botaniste, à Cahan par Athis (Orne).
JAMIN, membre de l'Institut, à Paris.
KORISTKA (Karl), prof. de géodésie, à Prague.
LEIGHTON (W.-A.), botaniste, à Shrewsbury.
LENNIER, directeur du musée du Havre.
LINDER, ingénieur des mines, à Bordeaux.
LINDSAY (W^am Lauder), botaniste, à Gilgal, Perth.
LISSAJOUX, prof. de physique, à Paris.
MANTEGAZZA, prof. d'anthropologie, à Florence.
MARIGNAC, prof. de chimie, à Genève.
MASTERS (Maxwell-T.), naturaliste, à Londres.
MATTHES, prof. de physique, à Amsterdam.
MEISSNER, prof. de botanique, à Bâle.
MIERS (John), botaniste, à Londres.
MOLESCHOTT, prof. de physiologie à Turin.
NOOTEN (VAN), secrét. de la soc. des sc. et arts d'Utrecht.
NORGUET (A. DE), archiviste de la soc. des sc. de Lille.
OLIVER (Daniel), conservateur des herbiers de Kew.
PEDICINO, prof. à l'Institut technique de Naples.
PHILLIPS, membre de l'Institut, à Paris.
PLANCHON (Gustave), prof. à l'Ecole de pharm. de Paris.
PRILLIEUX (Edouard), docteur ès-science, à Paris.
PUISEUX, prof. à la faculté des sciences de Paris.
REED, ancien ingénieur en chef de la marine, à Londres.
REMY (Jules), naturaliste, à Louvercy.
RENOU, secrétaire de la soc. météorologique de France.
ROBIN (Charles), prof. à l'Ecole de médecine de Paris.
ROUMEGUÈRE (Casimir), naturaliste, à Toulouse.
ROZE (Ernest), secrét. de la soc. botanique, à Paris.
RUBIERI, secrét. de l'acad. des Georgophiles de Florence.

SCACCHI, prof. de minéralogie, à Naples.
SCHIAPARELLI, directeur de l'Observatoire de Milan.
SCHUTZENBERGER, président de la soc. chimiq. de Paris.
SCHWENDENER, prof. de botanique, à Bâle.
SCIUTO-PATTI, secrét. de l'académie de Catane.
SEYNES (Jules de), prof. à l'école de médecine de Paris.
SIRODOT, doyen de la faculté des sciences de Rennes.
STRUVE, directeur de l'Observatoire de Pulkowa.
SURINGAR, directeur du Jardin botanique de Leyde.
SZONTAGH (Niklas), botaniste, à Pesth.
TERRACCIANO, directeur du Jardin botanique de Caserte.
THÉNARD (Baron Paul), membre de l'Institut, à Paris.
THWAITES, directeur du Jardin botanique de Ceylon.
TIEGHEM (Ph. VAN), prof. à l'école normale de Paris.
TILANUS, prof. de chirurgie, à Amsterdam.
VILLE (Georges), prof. au Jardin des plantes de Paris.
WEDDELL, correspondant de l'Institut, à Poitiers.
WESTWOOD, prof. de zoologie à Oxford.
WILLM, chimiste, à Paris.
ZEPHAROVICH, secrét. de la société Lotos, à Prague.
ZETTERSTEDT, prof. à l'université de Jönköping.



TABLE.



